



**VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ**

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

**FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ**

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

**ÚSTAV AUTOMATIZACE A INFORMATIKY**

INSTITUTE OF AUTOMATION AND COMPUTER SCIENCE

**METODY SPECIFIKACE KYBERFYZIKÁLNÍCH  
SYSTÉMŮ**

METHODS OF SPECIFICATION OF CYBERPHYSICAL SYSTEMS

**DIPLOMOVÁ PRÁCE**

DIPLOMA THESIS

**AUTOR PRÁCE**

AUTHOR

Bc. Martin Junek

**VEDOUCÍ PRÁCE**

SUPERVISOR

doc. Ing. Branislav Lacko, CSc.

**BRNO 2021**



# Zadání diplomové práce

Ústav: Ústav automatizace a informatiky  
Student: **Bc. Martin Junek**  
Studijní program: Strojní inženýrství  
Studijní obor: Aplikovaná informatika a řízení  
Vedoucí práce: **doc. Ing. Branislav Lacko, CSc.**  
Akademický rok: 2020/21

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č. 111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma diplomové práce:

## Metody specifikace kyberfyzikálních systémů

### Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Kyberfyzikální soustavy digitální výroby Industry 4.0 představují rozsáhlé systémy, jejichž popis specifikace nelze provést výhradně verbálním způsobem. Proto při jejich návrhu je potřeba použít sofistikovaných metod, které kombinují různé specifické způsoby jejich deskripce. Vhodný soubor metod se v současné době hledá a je snaha dosáhnout jeho mezinárodní normalizace s ohledem na globální tržní prostředí, ve kterém se soustavy Industry 4.0 navrhují a realizují.

### Cíle bakalářské práce:

Analyzujte výhody a nevýhody různých druhů popisu kyberfyzikálních systémů.  
Popište vybranou metodu, která splňuje většinu současných požadavků na návrh CPS.  
Zpracujte příklad specifikace vybrané kyberfyzikální soustavy.

### Seznam doporučené literatury:

KOLÍBAL, Zdeněk a kol. Roboty a robotizované výrobní technologie. Brno: VUT IUM, 2016, 800 s.

ISBN 978-80-2114-826

MARCA, David. IDEF0/SADT Business Process and Enterprise Modeling. San Diego: Electric Solution 1988. 392 p. ISBN 0.9638750-0-0

SUH, S.C.; TANIK, U.J.; CARBONE, J.N.; EROGLU, A.. Applied Cyber-Physical Systems. New York: Springer Science 2014, 265 p. ISBN 978-1-4614-7336-7

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2020/21

V Brně, dne

L. S.

.....  
doc. Ing. Radomil Matoušek, Ph.D.

ředitel ústavu

.....  
doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.

děkan fakulty

## **ABSTRAKT**

Cílem této diplomové práce je analýza výhod a nevýhod různých druhů popisu kyberfyzikálních systémů. Součástí je popis vybrané metody, která splňuje většinu současných požadavků na návrh CPS. V praktické části se věnuje pozornost zpracování příkladu na specifikaci vybrané kyberfyzikální soustavy.

## **ABSTRACT**

The aim of this diploma thesis is to analyse the advantages and disadvantages of different types of description of cyberphysical systems. It also concerns a description of the selected method that meets most of the current requirements for CPS design. In the practical part, attention is paid to the elaboration of an example for the specification of a selected cyberphysical system.

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

Návrh automatizovaných řídicích systémů, specifikace kyberfyzikálních systémů, počítačová podpora tvorby softwaru, metoda IDEF, Industry 4.0, model RAMI.

## **KEYWORDS**

Design of automated control systems, specification of cyberphysical systems, computer aided software development, IDEF method, industry 4.0, RAMI model.





2021

## BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

JUNEK, Martin. *Metody specifikace kyberfyzikálních systémů*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav automatizace a informatiky, 2021, 65 s. Diplomová práce. Vedoucí práce: doc. Ing Branislav Lacko, CSc.





## **PODĚKOVÁNÍ**

Velké poděkování patří doc. Ing. Branislavu Lackovi, CSc. za cenné rady a připomínky k diplomové práci. Dále děkuji své rodině a přátelům za morální a psychickou podporu v průběhu celého studia.



## ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že tato práce je mým původním dílem, vypracoval jsem ji samostatně pod vedením doc. Ing. Branislava Lacka, CSc. a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury.

Jako autor uvedené práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědom následku porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona c. 121/2000 Sb., včetně možných trestně právních důsledků.

V Brně dne 22. 5. 2021

.....

Martin Junek



## Obsah

<b>1</b>	<b>ÚVOD.....</b>	<b>15</b>
1.1	Cíle diplomové práce.....	15
1.2	Použitý postup a metody při zpracování diplomové práce.....	15
1.3	Digitalizace v podmínkách 4. industriální revoluce .....	15
<b>2</b>	<b>KYBERFYZIKÁLNÍ SYSTÉMY JAKO SOUČÁST INDUSTRY 4.0 .....</b>	<b>19</b>
2.1	Vymezení CPS.....	19
2.2	Model RAMI 4.0 .....	22
2.3	Problematika popisu rozsáhlých kyberfyzikálních systémů.....	24
2.4	Metodologie pro návrh kyberfyzikálních systémů .....	29
2.5	Výběr analyzované metody .....	31
<b>3</b>	<b>METODA IDEF .....</b>	<b>33</b>
3.1	Základní informace o metodě .....	33
3.2	Struktura modulů metody IDEF .....	34
3.2.1	Metoda IDEF0 .....	35
3.2.2	Další metody IDEF .....	36
3.3	Počítačová podpora metody IDEF.....	44
3.3.1	Návod na tvorbu diagramu IDEF0 ve Visio .....	44
<b>4</b>	<b>PŘÍKLAD POPISU CPS METODOU IDEF .....</b>	<b>47</b>
4.1	Charakteristika vybraného systému.....	47
4.2	Popis systému metodou IDEF .....	53
4.2.1	Příklad použití metody IDEF0.....	53
4.2.2	Použití metody IDEF1X .....	55
<b>5</b>	<b>ZÁVĚR .....</b>	<b>57</b>
<b>6</b>	<b>SEZNAM LITERATURY.....</b>	<b>59</b>
<b>7</b>	<b>SEZNAM ZKRATEK .....</b>	<b>64</b>
<b>8</b>	<b>SEZNAM OBRÁZKŮ .....</b>	<b>65</b>



# 1 ÚVOD

## 1.1 Cíle diplomové práce

Cíle diplomové práce byly vyvozeny z uloženého zadání:

1. Analyzovat výhody a nevýhody různých druhů popisu kyberfyzikálních systémů.
2. Popsat vybranou metodu, která splňuje většinu současných požadavků na návrh CPS.
3. Zpracovat příklad specifikace vybrané kyberfyzikální soustavy.

Musel jsem vzít ohledy na požadavky, které pro zpracování diplomové práce vyplývají z předpisů Fakulty strojíního inženýrství VUT v Brně na obsah, strukturu a formální náležitosti tohoto druhu vysokoškolské odborné práce.

## 1.2 Použitý postup a metody při zpracování diplomové práce

Analýzu výhod a nevýhod různých druhů popisu kyberfyzikálních systémů (dále jen angl. zkratka CPS), jsem se rozhodl provést až po vymezení obsahu CPS a problematiky popisu rozsáhlých automatizovaných systémů. Dále v diplomové práci jsem se rozhodl popsat různé metodologie a standardizované metody, které jsou používány při návrhu automatizovaných systémů řízení.

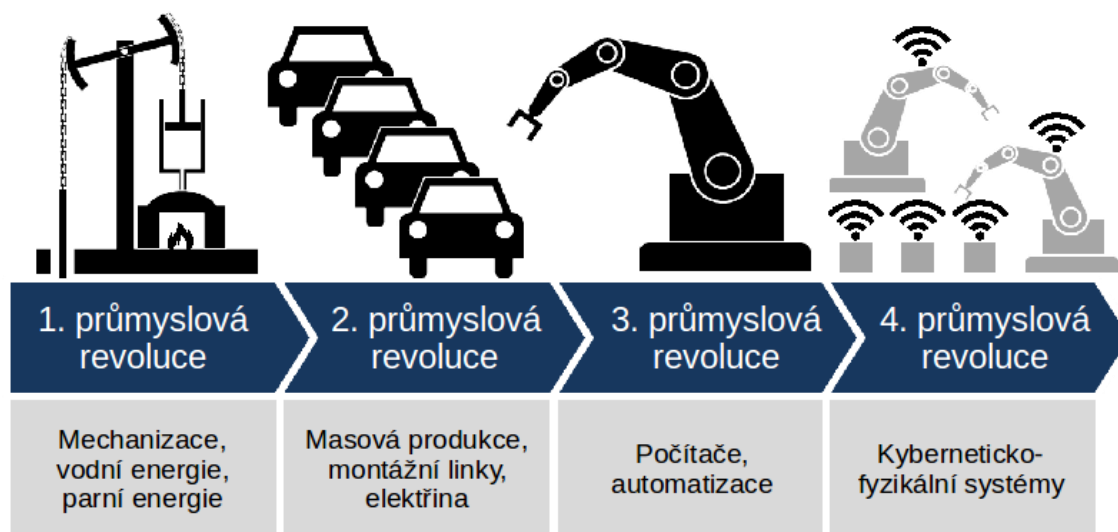
Na základě této analýzy jsem pak vybral metodu pro podrobný popis, která splňuje obecné požadavky pro návrh CPS i specifické požadavky na systémy Industry 4.0. Z toho důvodu jsem vybral koncept RAMI 4.0 s využitím komparativní analýzy.

Pro vybranou metodu následně popíšu její základní charakteristické rysy a vlastnosti, strukturu a použité techniky. Protože se CPS realizují v digitálním prostředí, zařadil jsem také informace o počítačové podpoře vybrané metody.

Pro tento výše uvedený postup jsem si sestavil osnovu diplomové práce, abych podle ní postupoval při jejím zpracování. Musel jsem vzít v potaz, že celý postup zpracování je potřeba opírat o rešeršní analýzu článků v odborných časopisech, publikacích a o konzultace s vedoucím diplomové práce. Zadání diplomové práce bylo vytvořeno v době, kdy studijní režim fakulty byl ovlivněn režimem pandemie viru COVID 19, což se promítlo v praktické části této diplomové práce, neboť byl zamezen přístup do prostorů fakulty, což jsem musel vzít rovněž v úvahu.

## 1.3 Digitalizace v podmínkách 4. industriální revoluce

Digitalizace je součástí 4. industriální revoluce, která se kolem nás odehrává v této době. Dochází k ní postupem času po předchozích revolucích.



Obrázek 1 Průmyslové revoluce [1]

1. průmyslová revoluce se datuje do roku 1784, kdy Edmund Cartwright vynalezl v Anglii první mechanický tkací stav. Tato revoluce ještě probíhala v průběhu 19. století, kdy se postupnými kroky přecházelo od ruční výroby v manufakturách ke strojní velkovýrobě. Pro tuto výrobu bylo třeba najít účinný zdroj energie. Tím bylo uhlí, respektive pára. Parní stroj se stal hlavním symbolem 1. průmyslové revoluce. Hlavním pojmem tohoto období je industrializace. Dopad této revoluce pro společnost byl obrovský, mělo to vliv na veškeré obory hospodářství. S tím spojeno zakládání nových sídel, kompletní změna životního stylu a vznik soukromého vlastnictví.

Na konci 19. století nastaly dva významné letopočty pro vznik 2. průmyslové revoluce. Tím prvním byl rok 1870, kdy společnost Cincinnati jako první na světě nainstalovala do svého závodu první montážní linku a začala s dělbou práce. Po nějakém čase zavedla elektrifikovanou linku, která přinesla další prudký rozvoj masové výroby. Tím druhým letopočtem byl rok 1879, kdy Thomas Alva Edison vynalezl žárovku.

3. průmyslovou revoluci nejčastěji spojujeme s automatizací, elektronikou a rozmachem informačních technologií. Její začátek je mnohem složitěji datován než v předchozích případech. Plynulý přechod od uhlí a páry k elektřině lze označit jako poměrně spojitý a logický, tak v případě přechodu z mechanismů k automatům byl spíše výsledkem přirozené evoluce než skutečnou revolucí. Historici datují její počátek zhruba na rok 1969, kdy byl vyroben první programovatelný logický automat čili PLC. Jedná se o malý průmyslový počítač, řídicí jednotku, pro automatizaci procesů v reálném čase. Pro PLC je charakteristické, že program vykonává v tzv. cyklech.

4. průmyslová revoluce vychází z konceptu high-tech strategie německé vlády, která byla představena v roce 2013 na veletrhu v Hannoveru. Mělo by docházet ke vzniku chytrých továren, kde stroje budou připojeny k internetu a budou propojeny s celým výrobním systémem. V důsledku napojení domácností na internet se zjednodušuje výrobní proces. Stroje se samy přihlásí k práci a bude stačit vydat jednoduchý pokyn k výrobě požadovaného produktu zákazníkem. Požadavek poputuje přes internet přímo



na výrobní linku a tu bude možné zpracovat v ceně velkosériové produkce. Během této revoluce se musí ve firmách změnit nejen technologie, nýbrž samotné myšlení. Rychlost inovace, zákaznický management, flexibilita, produktivita a doba reakce na změny na trhu budou důležitou součástí firem. Tato revoluce má za úkol kompletně změnit společnost. Důsledkem digitalizace ekonomiky se nezmění pouze oblast průmyslu, ale velký vliv bude mít i na oblasti vzdělání a pracovní trh. Reálné a virtuální světy se začnou více prolínat a díky tomu nabývají na důležitosti tzv. kyberfyzikální systémy [2].



## 2 KYBERFYZIKÁLNÍ SYSTÉMY JAKO SOUČÁST INDUSTRY 4.0

Předchozí zmíněné revoluce byly odstartovány díky technické inovaci. První revoluci spustil vynález parního stroje, druhou revoluci vyvolala elektrická energie a výrobní linky, třetí revoluci byla zahájena vzestupem elektroniky a informačních technologií, které zpřístupnily industriální automatizaci.

Čtvrtá revoluce odráží požadavky zákazníka na cenově příznivou a vysoce efektivní výrobu. Industry 4.0 využívá kyberfyzikální systémy a internet věcí (IoT, který souvisí s danou problematikou, ale zahrnuje i jiné aspekty) ke splnění uvedených požadavků. Lze prohlásit, že toto nově vzniklé paradigma umožňuje realizaci výrobních konceptů, nových modelů, inteligentního ovládání a individuálních potřeb uživatelů [3].

Pro dnešní výrobní systémy jsou vyžadovány určité úpravy, které se budou skládat s paradigma Industry 4.0. Nutno zmínit, že vestavěné systémy, které jsou vyrobené z řídicích jednotek, senzorů a akčních členů, vyžadují internetové rozhraní, čehož lze dosáhnout rozšířením vestavěných systémů u CPS. Tyto přístupy lze jednotlivě rozdělit na [4]:

1. Rozšíření systému o desku mikrořadiče:
  - Vestavěný systém je připojen k desce jednočipového mikropočítače s různými komunikačním rozhraním (Ethernet, WLAN, CAN).
2. Přímé rozšíření systému:
  - Vestavěný systém je přímo rozšířen o komunikační internetové rozhraní a software je přizpůsoben tak, aby docházelo ke komunikaci po síti.
3. Rozšíření o inteligentní senzory a akční členy:
  - V tomto rozšíření vestavěného systému jsou zabudovány inteligentní senzory a akční členy, jenž komunikují skrze internet.

Kyberfyzikální systémy jsou zamýšleny k propojení do složitějších a komplexnějších celků, které zabezpečí pokročilé řízení výroby [5].

### 2.1 Vymezení CPS

V současné době jsme svědky výzkumného trendu vestavěných systémů, což se týká velmi těsné integrace výpočetních systémů a fyzikálních systémů, zejména se zaměřením na ovládací prvek. Tento trend vede k nové kategorii zařízení, který si představíme pod pojmem kyberfyzikální systémy (CPS). CPS můžeme popsat jako integrované infrastruktury zahrnující výpočet, řízení, komunikaci a snímání. Hlavním cílem

kyberfyzikálních systémů je těsná integrace mezi řízenými fyzickými procesy a řízením digitálních výpočetních systémů.

Termín kyberfyzikální systém byl vytvořen zhruba kolem roku 2006 Helen Gill během Národní vědecké nadace (NSF) ve Spojených státech amerických, který popisuje integraci fyzikálních a výpočetních procesů. I přes skutečnost, že byl pojem CPS představen v roce 2006, můžeme CPS vysledovat již v průběhu 1. průmyslové revoluce, pokud budeme CPS interpretovat jako řízené fyzikální systémy anebo zásadním způsobem manipulované prostřednictvím inženýrské technologie.

K CPS se dostávalo postupnými kroky a cestami v delším časovém rozmezí [5].

- První krok byl udělán v roce 1946, kdy byl vyvinut první počítač ENIAC. Následně se začaly počítače uzavírat do kontrolních smyček kolem fyzikálních systémů. V 90. letech registrujeme vyšší zájem o integraci fyzikálních a výpočetních procesů. Z toho vznikají hybridní systémy, tedy použití diferenciálních rovnic pro popis fyzikálních systémů a diskrétní modely výpočtů. Hybridní systémy a řídicí systémy představovaly v této době CPS.
- Další krok lze spatřit v integraci komunikace a výpočtu. Mezi počítači začala komunikace v momentu, kdy byl představen ARPANET v roce 1969. Integrace komunikace a výpočtu se začíná vylepšovat díky zvýšení komunikačních a výpočetních schopností. Hodně se o to zapříčinil internet, či WIFI. V rámci projektu “Smart Dust“ v roce 1998 bylo představeno nové zařízení. Toto malé zařízení bylo schopné vnímat, počítat a komunikovat.
- Mezi další kroky lze zařadit první generaci řídicích systémů, které poskytují analogové ovládání. Tyto systémy jsou založené na provozních zesilovačích. Je využit systém, který používá frekvenční charakteristiku zesilovače vyvinutý například Nyquistem.

Všechny tyto kroky směřovaly ke konceptu CPS, zahrnující vývoj technologií i několika dalších oborů. Jak již bylo zmíněno, kyberfyzikální systémy jsou složené z více částí a ty jsou – kybernetická část, fyzikální část a síťovou část.

1. Kybernetická část:

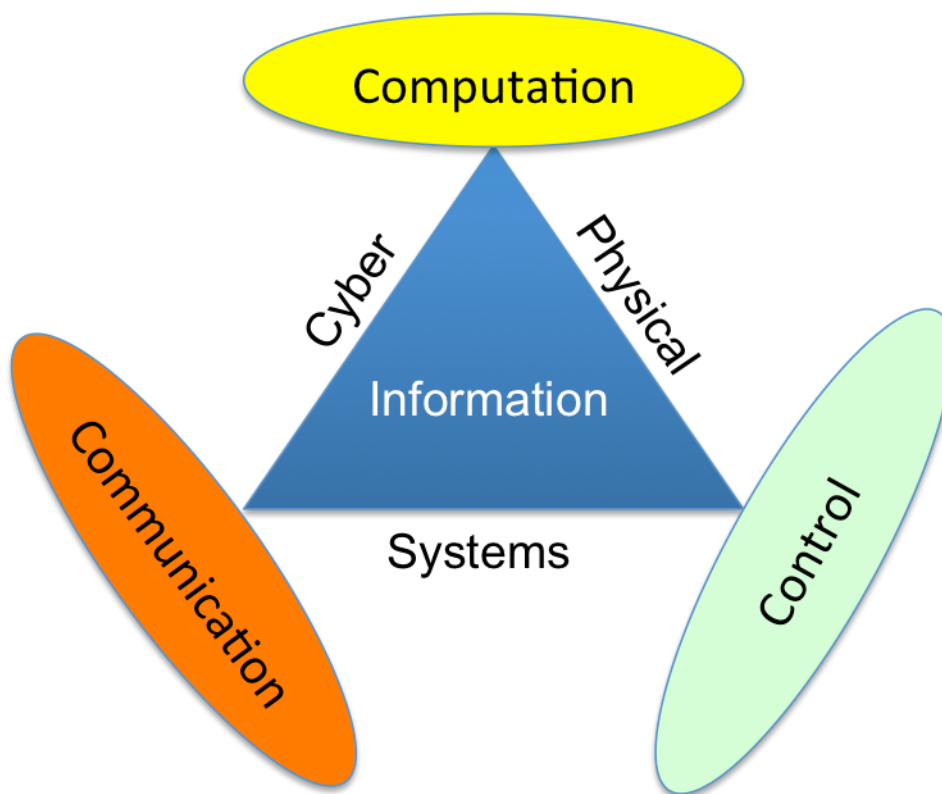
- Skládá se z výpočetního jádra, kde se informace o fyzikálním systému přesouvají do modelu softwarového systému a stanoví se příslušná pravidla závislosti a vztahy mezi entitami softwarového modelu spolu s řídicími algoritmy.

2. Fyzikální část:

- Reprezentuje kontrolovaný objekt. Tato část obsahuje fyzikální procesy i fyzikální objekty.

3. Síť:

- Je hlavním komunikačním médiem spojujícím fyzikální a kybernetickou část.



Obrázek 2 Kyberfyzikální systém [7]

Vývoj CPS je nutný z hlediska požadavků na decentralizovaný výpočetní systém, jenž bude zajišťovat efektivnější provoz systému, a současně zohlední výpočet správnosti systému. Při navržení ovládacího prvku systému je potřeba vzít v potaz dobu kontroly zpracování úlohy. V případě dlouhé doby pro zpracování úlohy může docházet ke složité opravě funkčnosti systému [8].

Kyberfyzikální systémy lze aplikovat v různých odvětvích:

- Dopravní systémy
- Lékařské systémy
- Inteligentní domy a budovy
- apod.

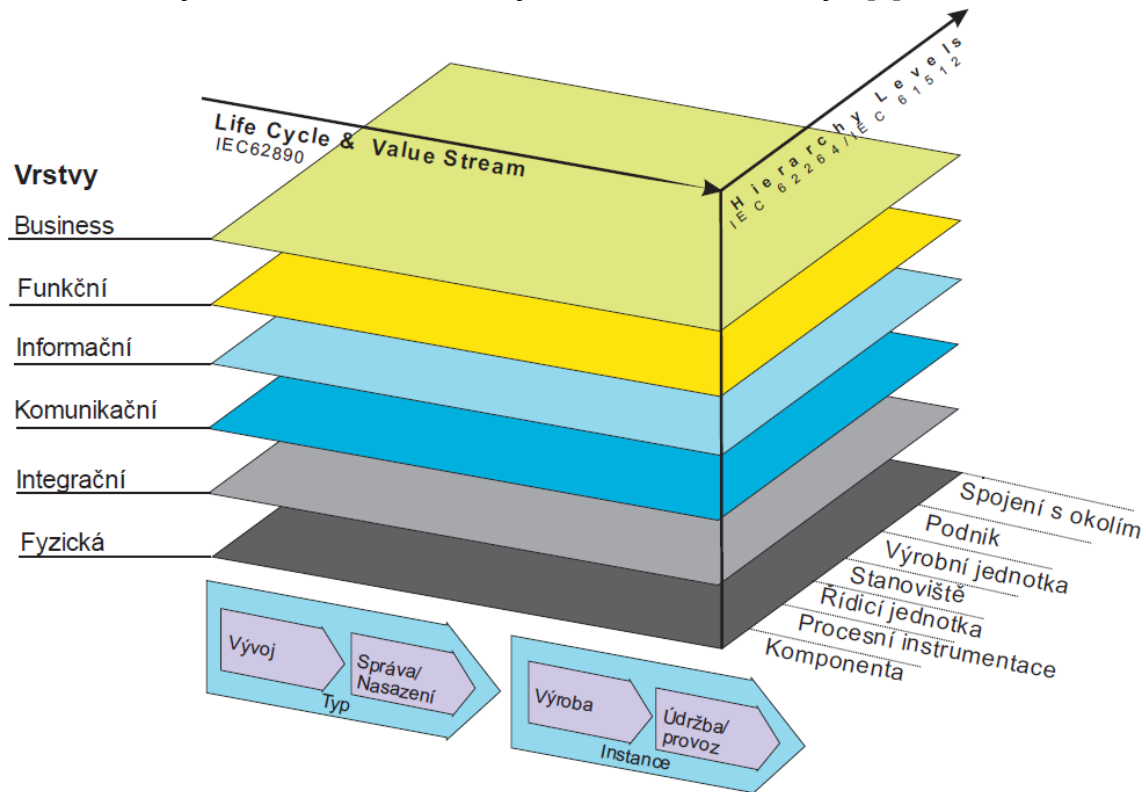
CPS mají velkou škálu aplikovatelnosti, též širokou škálu forem. Může se jednat od řešení nejmenších systémů (kardiostimulátor), až po složité systémy (bezpečnostní systém letadel).

Jiný pohled můžeme spatřit z designového hlediska. Představíme-li si, že CPS je odpovědný za poskytování následujících služeb [5]:

- Výpočetní služby
- Spouštěcí služby (startování procesů)
- Sledovací (monitorovací) služby

## 2.2 Model RAMI 4.0

Referenční model RAMI 4.0 byl vytvořen německou společností ZVEI. Tento model se vyznačuje 3D strukturou, kde jednotlivé vrstvy jsou složeny ze tříd, které rozvíjejí všechny základní aspekty Industry 4.0. Komplexní vazby díky tomu jsou dále rozděleny do menších a jednodušších substruktur, jež lze samostatně rozvíjet [6].



Obrázek 3 Model RAMI 4.0 [9]

Levá horizontální osa RAMI 4.0 je velmi důležitým kritériem v moderním inženýringu a je popsána jako „životní cyklus výrobku s jeho hodnotovým tokem“ [4]. Na této ose nachází závislosti jako sběr dat během životního cyklu apod. Během celého životního cyklu se snažíme dosáhnout digitalizace celého řetězce vývoj – prodej, a to nám nabízí obrovský potenciál pro zlepšení produktu stroje a dalších úrovní Industry 4.0. V návrhu se v tuto chvíli vyznačuje jako standard IEC 62890. Podrobnější popis těchto funkcí vertikální osy:

- Fyzická vrstva – Jde o fyzickou podstatu či realitu, tedy konkrétněji o dokumentaci, obvodová schémata, lineární osy stroje, kovové částice. Tyto části jsou spojené s virtuální realitou okolí přes integrační vrstvu.
- Integrační vrstva – Cílem této vrstvy je poskytování informací o vrstvě objektů, které jsou zpracovány digitálně. Například generování událostí z vrstvy, počítačové řízení technického procesu, či interakce obsluhy s technickým procesem. Relevantní události mohou spouštět události vedoucí do informační vrstvy prostřednictvím komunikační vrstvy.

- Komunikační vrstva – Dochází ke standardizaci komunikace prostřednictvím universálních formátů dat ve směru k informační vrstvě.
- Informační vrstva – Umožňuje běh pro předzpracování událostí, provádí exekutivu pravidel vztahujících se k událostem. Přispívá formálnímu popisu pravidel a předzpracování událostí. Mezi další funkce patří udržení integrity dat, získávání nových dat vyšší kvality, získávání událostí a jejich transformování za účelem dosažení těch dat, co jsou důležitá pro funkční vrstvu.
- Funkční vrstva – Vytváří tvar pro popis funkcí a platformu pro horizontální integraci dalších funkcí. Nedílnou součástí je prostředí pro běh či modelování služeb. Též se generují pravidla a logická rozhodování. Horizontální integrace a vzdálený přístup je pouze v této vrstvě z důvodu nutnosti udržení integrity dat.
- Procesní vrstva – Zde nastává integrita funkcí v hodnotovém toku, umožňuje mapování firemních procesů. Jinými slovy, jak se celý firemní proces odehrává. Dále obsahuje základní a regulační podmínky prostředí a tvoří se modely pravidel, které je třeba respektovat. Spojuje také více různých firemních procesů [6].

Osa modelu (vodorovná vpravo) popisuje složení funkcí jakýchkoliv komponentů, co se mohou vyskytovat v Industry 4.0. Obsahuje specifikace funkčních vlastností komponentů, ty však nejsou specifikovány pro implementaci, nýbrž pouze popisují soubor těchto funkcí. Tato osa respektuje oba standardy IEC 62264 a IEC 61512. Tyto specifikace jsou určeny pouze pro jeden podnik či dílnu. Proto pravá horizontální osa končí úrovní „Spojení s okolním světem (Connected World)“, aby reprezentovala i pohled na funkčnost komponenty z jiných úrovní než z úrovně jedné dílny [6].

IEC 62264 je vícedílný standard, který definuje rozhraní mezi kontrolními a podnikovými aktivitami. Tato norma poskytuje modely a terminologii pro popis rozhraní mezi obchodním systémem podniku a jeho systémy řízení výroby. Prezentované modely a terminologie v této normě:

- Kladou důraz na správné integrační postupy řídicích systémů s podnikovými systémy během celého životního cyklu.
- Mohou být použity k vylepšení již existujících integračních schopností řídicích systémů výroby s podnikovými systémy.
- Netřeba zohledňovat stupeň automatizace při použití.

Tento standard poskytuje standardní terminologii a skládá se z více konceptů a modelů pro integraci řídicích systémů s podnikovými systémy, které zlepšují komunikaci mezi všemi stranami. Výhody, které je třeba vyzdvihnout:

- Redukují dobu k získání plnohodnotné produkce nového produktu.
- Prodejci mohou dodávat vhodné nástroje pro implementaci při integraci řídicích systémů do podnikových systémů.

- Umožní uživateli lépe identifikovat své potřeby.
- Snižuje náklady výrobních automatizačních procesů.
- Optimalizuje dodavatelské řetězce.
- Snižuje úsilí v oblasti životního cyklu.

IEC 62264 se skládá z následujících částí detailně popsanych v standardních dokumentacích IEC 62264:

- Part 1:2013 Object Models and Attributes of Manufacturing Operations (First edition 2003-03) [10]
- Part 2:2013 Object model attributes (First edition 2004-07) [11]
- Part 3:2016 Activity models of manufacturing operations management (First edition 2007-06) [12]
- Part 4:2015 Objects models attributes for manufacturing operations management integration [13]
- Part 5:2016 Business to manufacturing transactions [14]
- PAS Part 6:2016 Messaging Service Model [15]

Všechny tyto normy byly již vydány v ČR pod označení ČSN EN 62264.

ČSN EN 61512-1 je první částí dvoudílného souboru norem EN 61512 uváděných pod společným názvem "Dávkové řízení". Část 1 stanovuje normalizovanou terminologii a uvádí soubor referenčních koncepcí a modelů řízení procesů výroby dávek – dávkového řízení. Hlavním cílem této části je přispět ke zlepšení vzájemné komunikace mezi všemi zainteresovanými stranami i zefektivnění návrhu a využívání systémů dávkového řízení používaných v průmyslových procesech.

ČSN EN 61512-2 Dávkové řízení – Část 2: Datové struktury a metodické pokyny pro jazyky.

Norma poskytuje struktury dat a pokyny pro jazyky. Struktury dat jsou dány pomocí modelu dat, definovaného v 3. kapitole, který přesněji definuje cíle a vztahy.

## 2.3 Problematika popisu rozsáhlých kyberfyzikálních systémů

Návrh a popis kyberfyzikálního systému Industry 4.0 představuje velmi složitý a obtížný problém. Je to dáno několika následujícími faktory:

- Kyberfyzikální systém je složitě strukturován.
- Obsahuje velké množství komplikovaných automatizovaných funkcí, které navazují na řízené výrobní procesy.
- Paralelní zpracování velkého množství veličin v interakci s okolním prostředím přináší specifické problémy.
- Jeho existence se váže na dlouhé časové období, ve kterém se musí přizpůsobovat probíhajícím změnám.
- Musí být provozován i při vysoké fluktuaci pracovního personálu.



- Návrhu a realizace se zúčastňuje mnoho pracovníků různých profesí.

Proto je potřeba zajistit silný komunikační prostředek, který by zajistil možnost dobré komunikace při návrhu, realizaci a provozování takového složitého kyberfyzikálního systému. V rámci softwarového inženýrství se proto používají produkty (nástroje), označované zkratkou CASE (Computer Aided Software Engineering).

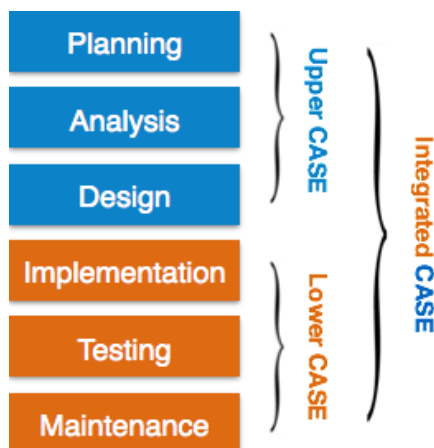
Nástroje CASE jsou sadou softwarových aplikačních programů, jenž se využívají k automatizaci SDLC (System development life cycle) činností. Tyto nástroje používají manažeři softwarových projektů, analytici a inženýři k vývoji softwarového systému. Je známa řada nástrojů pro zjednodušení různých fází životního cyklu vývoje softwaru. Mezi ně se řadí nástroje pro:

- Systémovou analýzu
- Návrh, tj. systémovou syntézu
- Údržbu a správu projektu včetně řízení verzí a změn
- Správu databáze o navrhovaných skutečnostech
- Kompletní dokumentaci.

Před krokem do další fáze vývoje softwaru pomáhají tyto nástroje k odhalení nedostatků. Jejich použitím dochází k urychlení vývoje projektů, které přináší požadovaný výsledek.

Nástroje lze seskupit, pokud mají podobnou funkčnost a schopnost integrace s jinými nástroji. Můžeme je široce rozdělit na základě jejich použití v konkrétní fázi SDLC do následujících částí:

- Centrální uložště:
  - CASE vyžaduje centrální uložště, které slouží jako zdroj běžných, integrovaných a konzistentních informací. Jsou zde uloženy specifikace produktu, související zprávy, dokumenty požadavků, diagramy a další důležité informace správy. Slouží též jako datový slovník.



Obrázek 4 Rozložení CASE nástrojů [16]

- Upper CASE:
  - Používá se na plánování, analýzu a návrh SDLC
- Lower CASE:
  - Součástí je implementace, testování a údržba.
- Integrated CASE:
  - Integrované nástroje jsou nápomocné ve všech fázích SDLC, a to od shromažďování požadavků až po testování a dokumentaci.

Nástroje CASE lze rozdělit na několik typů dle použití na jednotlivé případy. Rozdělení je následující:

- Nástroje diagramu
  - Používá se k reprezentaci systémových komponentů, dat a toku řízení mezi softwarovými komponenty a strukturou systému v grafické podobě. Pro tvorbu vývojových diagramů se používají různé programy (Visio, Draw.io, EdrawMax,...)
- Modelování procesů
  - Metoda k vytváření softwarového procesního modelu, který nachází využití u vývoje softwaru. Tyto nástroje pomáhají manažerovi vybrat procesní model nebo ho upravit dle požadavků na softwarový produkt.
- Řízení projektů
  - Tento nástroj nalezne své uplatnění v oblasti plánování projektů, odhadu ceny, plánování zdrojů a projektů. Důležitým aspektem pro manažery je, že musejí striktně dodržovat veškeré kroky v oblasti řízení softwarových projektů. Nástroje pro řízení projektů pomáhají při ukládání a sdílení informací projektu v reálném čase v celé organizaci.
- Dokumentace
  - Dokumentace je nedílnou součástí celého projektu. Začíná již před softwarovým procesem, prochází všemi fázemi SDLC. Tyto nástroje generují dokumenty pro technické a koncové uživatele. Jako technického uživatele si představme interního odborníka vývojového týmu, který odkazuje na referenční, systémovou, instalační, či výcvikovou příručku. Dokumenty pro koncového uživatele popisují fungování a jednotlivé postupy systému.
- Analýza
  - Analýza pomáhá shromažďovat požadavky, dále automaticky kontroluje případnou nekonzistentnost a nepřesnosti v diagramu, či nadbytečnost dat.
- Návrh

- Zde dochází k návrhu blokové struktury softwaru, která se rozděluje na menší moduly pomocí specifické techniky. Vyskytují se zde podrobnosti o každém modulu a jejich vzájemném propojení.
- Konfigurační management
  - Konfigurační management se zabývá – správou verzí a revizí, správou základní konfigurace a správou řízení změn. Nástroje v tom pomáhají automatickému sledování, správou verzí a správou řízení.
- Ovládací změny
  - Tyto nástroje se ještě považují za součást konfiguračního managementu. Zaměřují se na změny v softwaru vzniklé při prvním vydání softwaru nebo po opravení jeho základní linie. Automatizují správu souborů, sledování změn a správu kódu. Mají i roli při prosazení změny politiky v organizaci.
- Programování
  - Tento nástroj obsahuje programovací prostředí, vestavěné knihovny modulů a simulační nástroje. To poskytuje komplexní pomoc při tvorbě softwaru a obsahuje i funkce pro simulování a testování.
- Nástroj na prototypování
  - Prototyp je simulovaná verze zamýšleného produktu. Přináší počáteční vzhled, chování produktu a simuluje několik dalších aspektů skutečného produktu. Jinými slovy přicházejí s grafickými knihovnami. Mohou vytvářet hardwarově nezávislá uživatelská rozhraní a design. Na základě existujících informací vytváří rychlé prototypy a poskytují modelování a simulaci prototypu softwaru.
- Vývoj webových stránek a grafického rozhraní
  - Tady se tvoří pomoc při návrhu webových stránek se všemi souvislostmi jako jsou formuláře, grafika, skripty, texty. Díky nim můžeme sledovat průběžné výsledky tvorby vývoje a jak bude produkt komunikovat s uživateli.
- Zajištění kvality
  - Potřebná kvalita zajišťuje sledování inženýrského procesu a používaných metod při vývoji softwarového produktu. Musí být zajištěna shoda kvality podle standardů organizace. Kvalita obsahuje nástroje pro řízení konfigurace a nástroje pro testování softwaru.
- Údržba
  - Údržba zahrnuje úpravy softwarového produktu po jeho dodání. Mezi nástroje CASE, které pomáhají organizaci softwaru ve fázi údržby SDLC se řadí – technika automatického protokolování a hlášení chyb [17].

Systémy CASE používají různé prostředky pro popis softwaru:

- Verbální popis:

- Verbální způsob popisu vychází z myšlenky maximálně se přiblížit vyjadřovacím prostředkům přirozeného jazyka. Protože navazuje na dosavadní způsob ručního popisu funkcí a dat, zdá se být nej přirozenější. Problémem je zde jednoznačné pochopení takového textu počítačem i přesto, že metody umělé inteligence učinily velké pokroky v porozumění přirozenému jazyku. Proto se používá různých formalizovaných podmnožin zejména jazyka anglického. Např. Structured English v metodě De Marco [18] nebo jazyk PSL/PSA v projektu ISDOS [19]. Výhodou verbálního popisu je, že je snadno zvládnutelný. Nevýhodou představuje jeho rozvlácnost, možná nejednoznačnost a nepřehlednost, pokud je popis obsáhlý a má složité vnitřní souvislosti.
- Symbolický popis:
  - Symbolický způsob popisu vychází ponejvíce z formalizovaného symbolického jazyka matematiky (množiny, funkce, matematická logika). Např. Formální popis složitých systémů Vienna Development Language [20]. Výhodou je jeho stručnost a vysoká přesnost. Nevýhodou je nutnost zvládnout velké množství specifických symbolů (často i komplikovaně zobrazovaných) a naučit se potřebná formální pravidla.
- Tabulkový popis:
  - Tabulkový způsob používá určité množiny standardizovaných tabulek. Každá tabulka má zvolenou strukturu sloupců určitého významu a pomocí řádků se pak zaznamenávají potřebné vlastnosti software. Protože se dá využít ke zpracování tabulek relačních databází, je tento způsob v současných systémech CASE velmi rozšířen. Např. Chandor Williamson: Systémová analýza a syntéza [21] nebo rozhodovací tabulky [22]. Výhodou je snadné pochopení přehledné soustavy použitých tabulek a možnost jejího jednoduchého počítačového zpracování prostřednictvím současných relačních databázových programů. Nevýhodou je možnost ztráty vzájemných souvislostí v popisovaných skutečnostech.
- Grafický popis
  - Grafický popis používá různých grafů pro názorné vyjádření vlastností softwaru. Pro svou názornou vypovídací schopnost je grafický popis velmi rozšířen. Jeho rozšíření umožnila výkonná počítačová grafika na současných osobních počítačích. Např. diagramy datových toků, diagramy logické struktury dat, vývojové diagramy. Tento způsob je velmi názorný a srozumitelný. Používají ho např. metody objektově orientovaného návrhu UML (Unified Modeling Language). Výhodou je názornost, vysoká vypovídací schopnost a srozumitelnost.

Nevýhodou je nutnost umožnit práci s grafikou a obtížnost zachytit rozsáhlé strukturované popisy systémů.

Z popisu výhod a nevýhod jednotlivých způsobu popisů jasně vyplývá, proč systémy CASE umožňují kombinaci uvedených způsobů těchto popisů. Uživatel pak má možnost použít právě ten, který je pro zpracování popisu konkrétní problematiky nejvhodnější.

## 2.4 Metodologie pro návrh kyberfyzikálních systémů

Terminologie v oblasti kyberfyzikálních systémů vychází z oblasti navrhování informačních systémů, která se v důsledku překotného vývoje softwarového inženýrství rychle a neustále vyvíjí, aby odpovídala novým potřebám tohoto oboru. Proto s ohledem na překotný rozvoj informačních technologií není terminologie standardizována a sjednocena.

Pro potřeby své diplomové práce budu používat níže uvedené pojmy v dalším textu s následným významem, odvozené z oblasti automatizovaných informačních a řídicích systémů (dále jen AIŘS), mezi něž kyberfyzikální systémy patří.

**Metodologie návrhu systémů** – chápána jako souhrn postupů a dílčích metod, které se zabývají naukou o metodách, to jest:

- Vypracováním vhodných metod a technik pro navrhování AIŘS
- Otázkami spojenými se zvládnutím, zvážení a využíváním metod pro navrhování AIŘS
- Analýzou, hodnocením a srovnáváním metod pro navrhování AIŘS
- Řešením otázek spojených s počítačovou podporou metod
- Aplikací různých teoretických principů, využitelných v rámci metod navrhování AIŘS
- Obecnými otázkami nákladů a přínosu metod navrhování AIŘS

**Metoda** – ucelený soubor pravidel a popis postupu při návrhu AIŘS, který stanoví i určité techniky a doporučené nástroje, které má řešitel používat při své práci. Metoda sleduje určité cíle, které jsou obvykle explicitně stanoveny a pro jejichž dosažení je maximálně uzpůsobena.

**Technika** – je chápána jako dílčí postup, použitý k dosažení určitého postupného cíle v rámci metody (například datové modelování prostřednictvím E-R diagramů)

**Nástroj** – je chápán jako konkrétní programový prostředek, kterým se uskutečňuje realizace určité činnosti s využitím schopnosti počítače.

Aktuálně používané metodologie vychází z těch, které se osvědčily při návrhu automatizovaných informačních a řídicích systémů. Autoři Sabbir M. Saleh, Khondoker Ali Asgor Pavel a Mohammed Ashikur Rahman ve svém článku popisují výsledky své komparativní studie, kde porovnávali klasickou „vodopádovou“ metodologii s agilní metodologií [23].

V současnosti je velmi rozšířena agilní metodologie a je jednou z populárních metodik pro vývoj softwaru. Její vývoj je inovativní a je vynaloženo úsilí pro řešení potřeb uživatelů, které se soustředí na předpoklady pro rychlejší a levnější distribuci příslušných fungujících podnikových aplikací. Systém je obvykle poskytován inkrementálně nebo iterativně. Zapojením uživatelů prostřednictvím aplikace designových týmů a speciálních pracovních prostorů se obvykle zabývají agilní expanzivní přístupy. Strategie organizace se opírá o zavedení časového boxu, dále striktní dodržení cílů, které určují dané možnosti. Dále dochází ke shromažďování úkonů, které mají být poskytovány společně s úpravami pro dosažení cílů. Agilní přístup shledává využití v situacích, které se postupně mění a mají potíže s omezenými výsledky. Agilní přístup podporuje koncepci paralelního nárustu převážně v rámci celkové distribuce. Jedná se o metodu postupného zvyšování počtu navrhovaných funkcí, tedy založenou na dílčích přírůstcích funkcí systému. Přichází s neustálým vylepšováním kódu, uživatelskému příspěvku ve vývojovém týmu a párovému programování (technika dvou spolupracujících programátorů, kdy jeden píše kód a druhý pozoruje, naviguje a kontroluje každý řádek kódu). Může ovšem nastat problém s udržitelností zájmu spotřebitele, který je zapojen do procesu. Zvýraznění fluktuací může být problematické tam, kde je více zúčastněných stran. Z toho plyne, že dohody mohou nastat obtížně, podobně jako tomu je u dalších vývojových metod.

Mnoho zastánců agilní metody se domnívá, že „Scrum“ je nejlepší metodou pro vývoj softwaru. Tato metoda ovšem není přijatelná pro postupnou práci v agilním prostředí v síťovém managementu. Kvůli tomu vědci zdlouhavě zkoumají model založený na „Scrumu“ a metodologii Kanban, aby došlo k nejlepšímu využití obojího a našli tak novou a přijatelnější metodu pro vývoj softwaru v již poměrně velmi rozšířeném agilním prostředí.

Softwarový procesní model je abstraktní reprezentant, který definuje proces z určitého hlediska. Existuje mnoho variant obecných modelů pro vývoj softwaru. Mezi ně patří:

- Waterfall model
- Scrum
- Kanban
- XP

Tyto předepsané softwarové procesní modely se využívají již řadu let. Je snahou vytvořit pořádek a strukturu ve vývoji softwaru. Každý z nich se liší v postupu, ale všechny spojuje podobný soubor společných rámcových akcí [23]:

- Komunikace
- Plánování
- Modelování
- Konstrukce
- Nasazení

Parameters	Process Models	Waterfall	Scrum	Kanban	XP
Communication		Initial level	Frequently	Frequently	Initial level
Requirement Specifications		Initial level	Frequently change	Frequently change	Initial level
Cost		Low	Much Expensive	Much Expensive	High
Resource Control		Yes	No	No	Yes
Simplicity		Simple	Complex	Complex	Intermediate
Risk Analysis		Only beginning	Yes	Yes	Yes
Feedback from User		No	No	No	Yes
Customer Priority		Nil	High	High	Intermediate
Precondition		Requirement clearly defined	No	No	No
Elasticity		No	Very high	Very high	Medium
Practicality Implementation		No	High	High	High
Usability		Basic	Most use nowadays	Most use nowadays	Medium

Tab. 2 Srovnání metodologií [23]

V předposledním řádku tabulky uvádějí autoři hodnocení praktického využití vodopádového modelu z hlediska malých automatizovaných systémů. Vodopádový model je běžně používán v převážné většině všech současných automatizovaných systémů včetně kyberfyzikálních systémů [23].

## 2.5 Výběr analyzované metody

Protože mezinárodní norma IEC 62890:2020 - (Industrial process measurement control and automation – Life-cycle-management) [24], kterou zvažuje model RAMI 4.0 uvažuje vodopádový model, byla diplomová práce zaměřena na metodu IDEF, která vychází z aplikace vodopádového modelu a umožňuje aplikovat strukturovaný, funkční i objektově orientovaný přístup při návrhu kyberfyzikálních systémů.

Metoda se osvědčila při návrhu minulých systémů CIM (Computer Integrated Manufacturing) v USA v devadesátých letech. Její definiční prostředky a metody byly vyvinuty za financování prostředků amerického letectva, a přestože jsou nejčastěji

používány i jimi a dalšími vojenskými agenturami a agenturami ministerstva obrany USA v souvislosti s výstavbou automatizovaných výrobních továren leteckého, raketového průmyslu a dalších oblastech zbrojní výroby, začala být metoda využívána i v rámci civilního kosmického průmyslu. Byla zpřístupněna na veřejných doménách sítě Internet (např. <https://en.wikipedia.org/wiki/IDEF>), používá se v automobilovém průmyslu a jiných sofistikovaných automatizovaných výrobních továrnách nejen v USA.

Přitom metoda je velmi dobře podporována i programovými systémy typu CASE, jak je popsáno v kap. 2.3 této diplomové práce. Metoda je všeobecně uznávána v současné globalizované tržní výrobě (viz text závěrečné 5. kapitoly).

Metoda IDEF podporuje nejen detailní zpracování návrhu kyberfyzikálního systému, ale může sloužit už i při zpracování strategického konceptu celého záměru, zejména metodou IDEF0 [25].



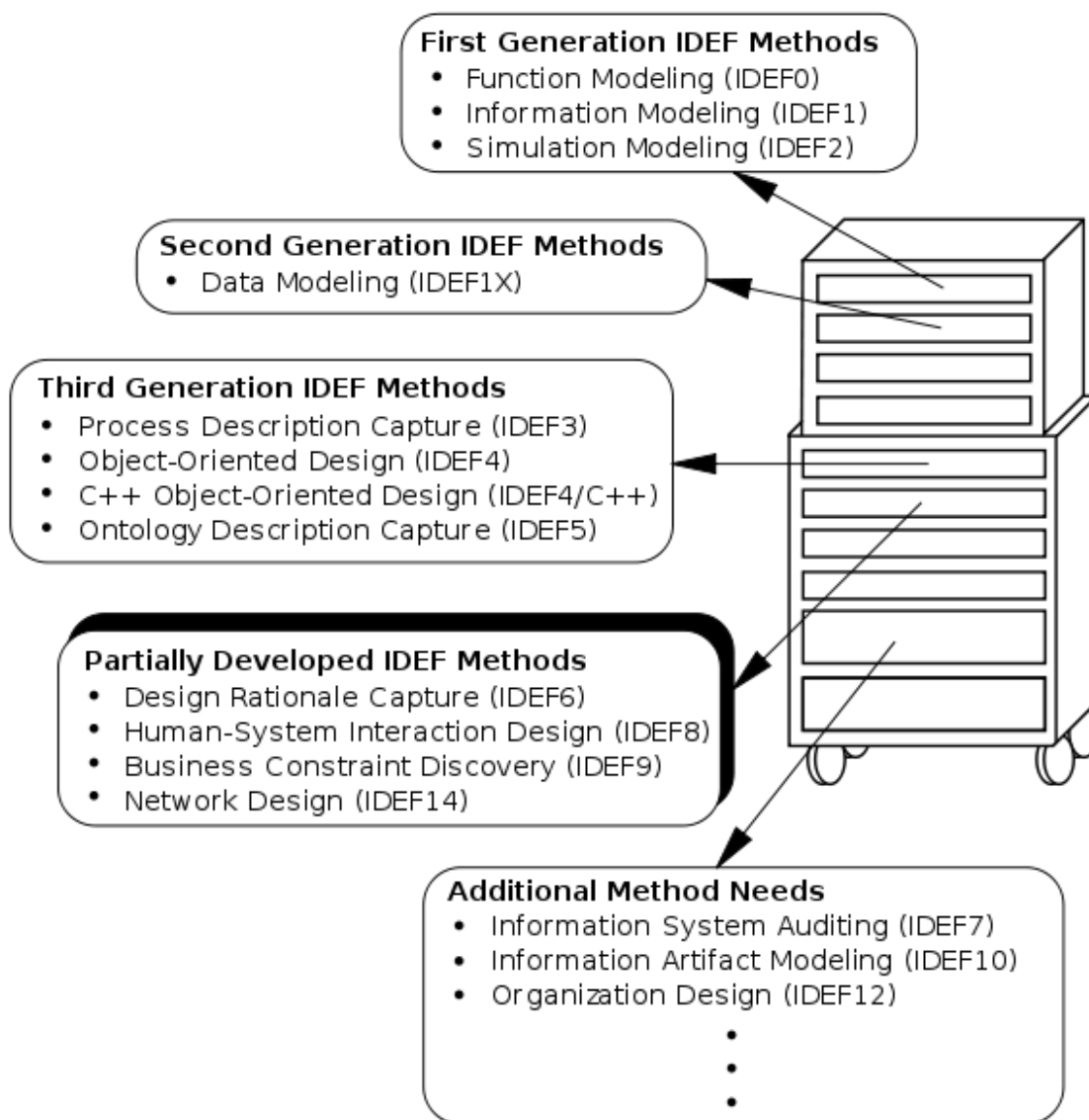
## 3 METODA IDEF

### 3.1 Základní informace o metodě

Integrovaná definice pro modelování funkcí, zkráceně IDEF, se řadí mezi metody modelování, které vykazují podporu paradigma, jenž je schopno analyzovat určitý složitý podnik. Zkratka IDEF vznikla v 70. letech 20. století a je produktem výzkumného programu ICAM (Integrated Computer-Aided Manufacturing program), který byl původně vytvořen za účelem zlepšení koordinace výrobních operací. Přišlo s ní letectvo Spojených států amerických [26.]. Dnes je součástí velké ucelené metodologie, která je mezinárodně uznávána a používána, která se skládá z následujících metod:

- IDEF0 (Function Modeling)
- IDEF1 (Information Modeling)
- IDEF1X (Data Modeling)
- IDEF2 (Simulation Model Design)
- IDEF3 (Process Description Capture)
- IDEF4 (Object-Oriented Design)
- IDEF5 (Ontology Description Capture)
- IDEF6 (Design Rationale Capture)
- IDEF7 (Information System Auditing)
- IDEF8 (User Interface Modeling)
- IDEF9 (Business Constraint Discovery)
- IDEF10 (Implementation Architecture Modeling)
- IDEF11 (Information Artifact Modeling)
- IDEF12 (Organization Modeling)
- IDEF13 (Three Schema Mapping Design)
- IDEF14 (Network Design)

Tab. 1 Přehled metod [27]



Obrázek 5 Metody IDEF [28]

Tyto metody se používají dle různých potřeb a zvolených kritérií.

Pro tvorbu modelu obchodních procesů se nejčastěji používá IDEF0, neboť je neužitečnější z důvodu typického rozložení uzlů diagonální funkce. Jinými slovy se používá pro modelování strukturálních reprezentujících funkcí zapojených do procesů nebo komplexních systémů. Zásadní výhodou této metody je, že jednotlivé vztahy se tvoří napřímo a transparentně. Z toho důvodu je vzájemná vazba mezi jednotlivými úkoly a procesy činností dokumentována.

### 3.2 Struktura modulů metody IDEF

Modely IDEF se dělí na 16 různých metod, kdy každý z těchto modelů má široké spektrum využití a dokáže pracovat s určitým typem diagramů. První čtyři metody jsou základní a nejčastěji využitelné v praxi. Zbývající metody jsou používány v těch

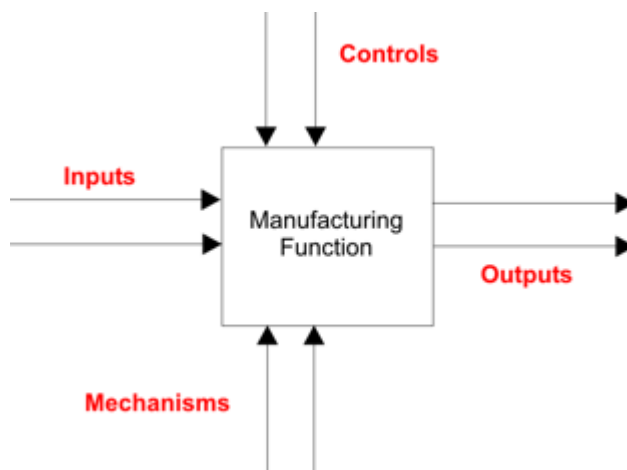
případech, kdy je potřeba v rámci kyberfyzikálního systému řešit a popsat nějaké specifické problémy. Proto jsem jejich popis nezařadil do této diplomové práce.

### 3.2.1 Metoda IDEF0

Metoda IDEF0 byla odvozena z již uchycené grafického jazyka – Technika strukturované analýzy a designu (SADT). Jelikož se IDEF0 používá ke specifikaci funkčních modelů podniku, které slouží k popisu základních činností podniku, znázorňují se hlavní aktivity a jejich vstupy, výstupy, řídicí vstupy a mechanismy spojené s každou hlavní aktivitou, měl by být IDEF0 vyhotoven jako první při vývoji systému. Efektivní model pomáhá organizovat analýzu systému a podporuje komunikaci mezi analytikem a koncovým zákazníkem. IDEF0 rozšiřuje možnosti připojení více odborníků k doméně prostřednictvím zjednodušených grafických zařízení. Pomáhá modeláři jako analytický nástroj při identifikaci, jaké funkce se provádí, co je třeba k provedení daných funkcí, jaké vykonává chyby, a kterých se naopak dokáže vyvarovat [29].

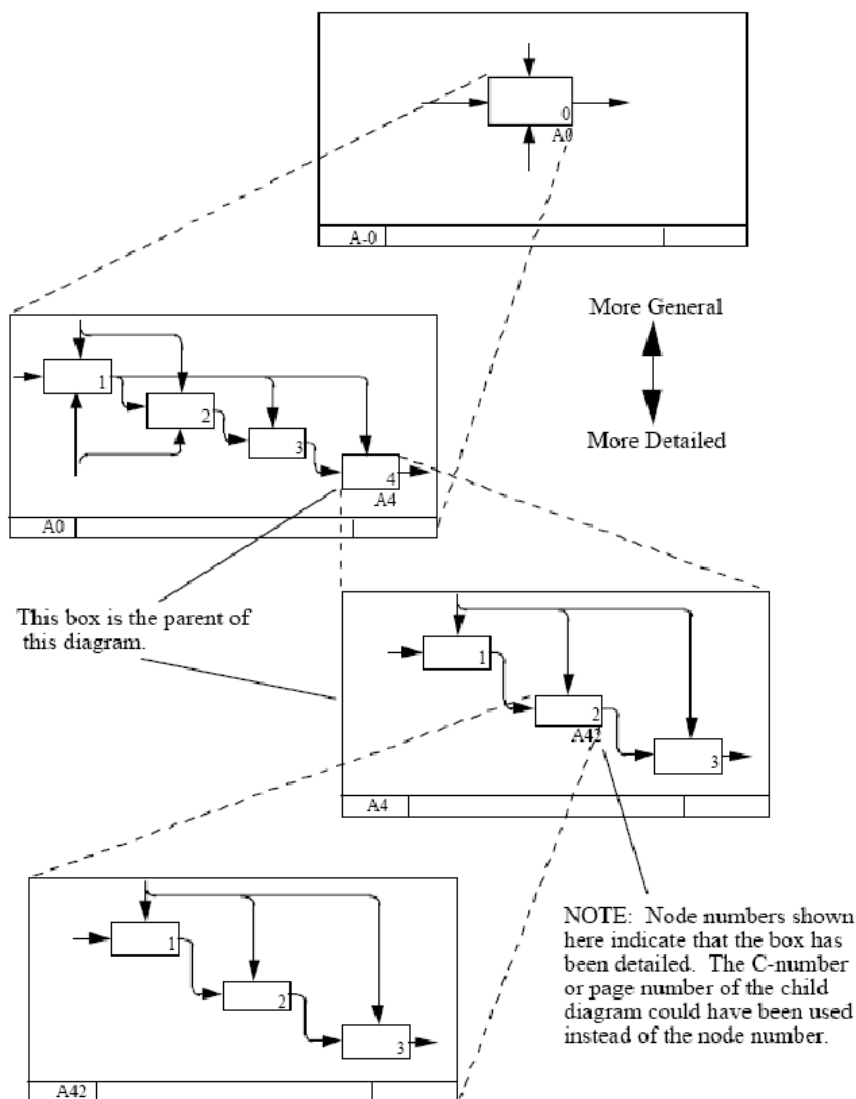
Koncepty vylepšující celkovou komunikaci modelu:

- Šipky a pole jsou textově popsány. Text definuje přesný význam jednotlivých prvků diagramu.
- Celý diagram složen z jednoduchých grafických polí a šipek.
- Uzlový graf poskytuje rychlou lokaci detailů v hierarchické struktuře diagramů.
- Omezuje podrobnosti na maximálně šest dílčích funkcí u každé následující funkce.



Obrázek 6 Grafické znázornění IDEF0 [30]

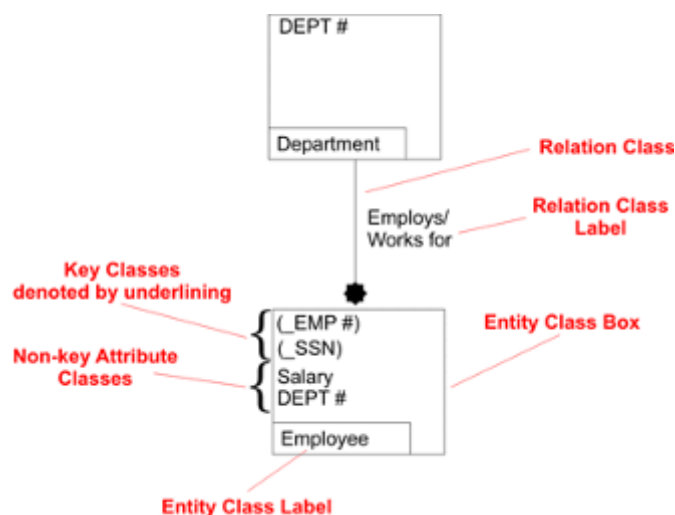
K výhodám lze zařadit vhodnost nástroje pro komunikaci mezi uživateli a odborníky. Uzly diagramu lze strukturovaně rozdělit do dalších vrstev. Nevýhodou této metody je, že nedokáže zodpovědět, jak činnosti přispívají ke zvýšení hodnoty zdrojů podniku, jinými slovy – proč k činnostem dochází [29].



Obrázek 7 Rozložená struktura IDEF0 [31]

### 3.2.2 Další metody IDEF

Metoda IDEF1 se primárně využívá pro modelování informací v podniku, hlavně ve fázi formulace požadavků. Dochází k identifikaci pojmů, které jsou používány v podniku a popisu mezi jejich vzájemnými vztahy. Model poskytuje základ pro návrh databáze, definuje informační strukturu a v neposlední řadě poskytuje prohlášení o požadavcích reflektující základní informační potřeby. Využívá strukturovanou techniku k odhalení informací a firemních pravidel, která jsou aplikována danou organizací. Informační model je užitečný během celého životního cyklu podniku, neboť pracuje s aktivní účastí uživatelských informací, které slouží k přesnému modelování organizace tím, že nutí uživatele přemýšlet o tom, jak a kde se jejich informace budou používat a spravovat [32].



Obrázek 8 Diagram IDEF1 [33]

IDEF1 se obecně používá pro:

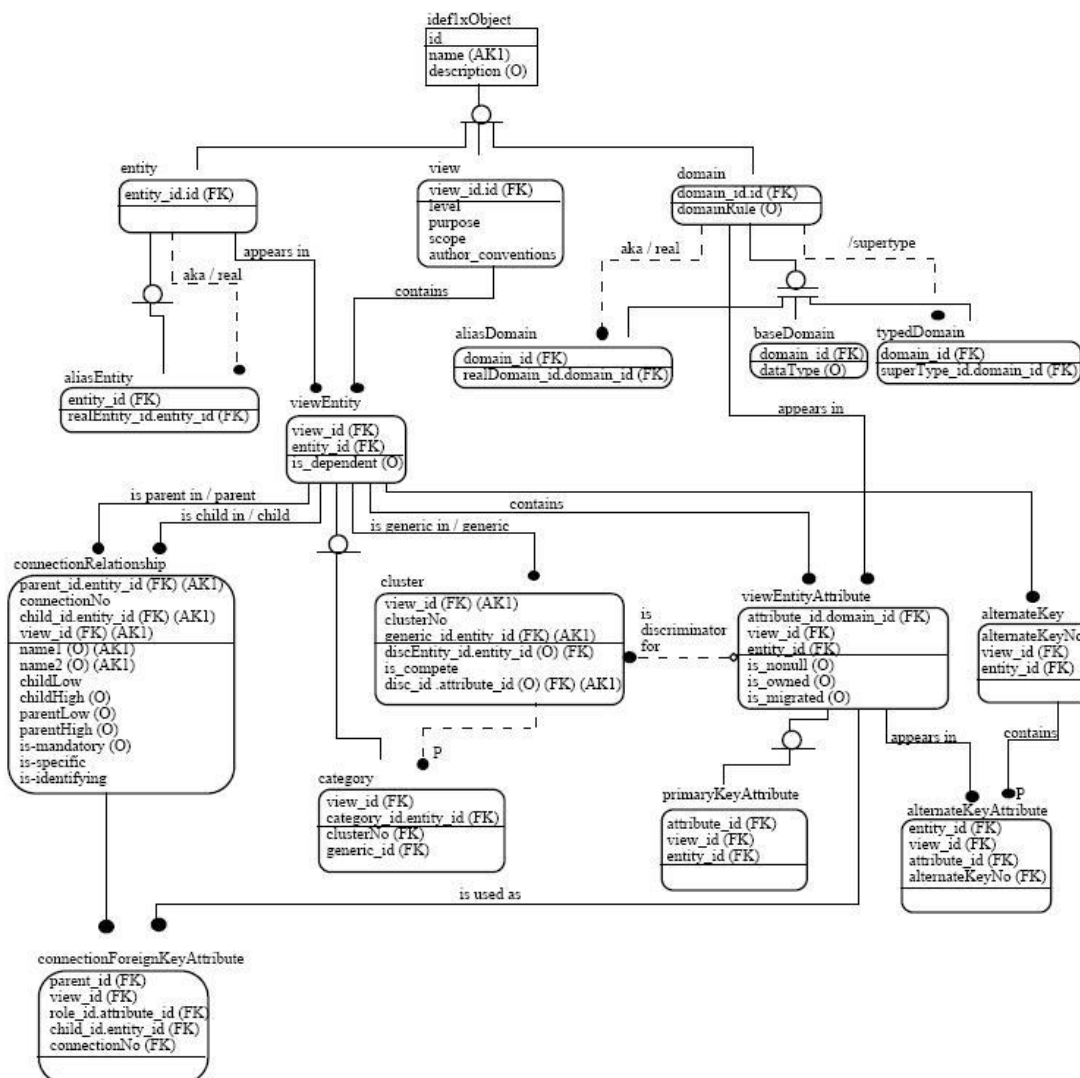
1. Identifikaci, jaké informace jsou momentálně využívány organizací.
2. Určení, který z problémů zjištěných při analýze potřeb je způsobené nedostatkem příslušných informací.
3. Specifikaci, jaká informace bude realizována při „TO-BE“ implementaci.

IDEF1 poskytuje soubor pravidel a postupů pro vedení vývoje informačních modelů. Jedním z cílů je poskytnutí strukturovaného a disciplinovaného procesu pro analýzu informací spravovaných organizací. Toho dosáhne ve chvíli, kdy metody jsou definovány evolučním procesem, měřitelnými výsledky a obsahují specifické produkty nutné pro tuto metodu. IDEF1 vynucuje modularitu, která eliminuje neúplnost, nekonzistenci a nepřesnosti nalezené v procesu modelování. Pro analýzu požadavků se musí rozlišovat:

- Reálný svět, vnímaný lidmi v organizaci, složený z fyzických a konceptuálních objektů (lidé, věci, místa, nápady), vlastnosti těchto objektů a vztahy souvisejících s těmito objekty.
- Informační obraz, zachycující informační stopu objektů, nacházejících se v reálném světě, tj. sbírané, ukládané a spravované informace. IDEF je omezen na popis tohoto obrazu [32].

Metoda IDEF1X je designována pro návrh relačních databází se syntaxí pro podporu sémantických konstrukcí nezbytných při vývoji koncepčního schématu. Zmíněné koncepční schéma se popisuje jako jednotná integrovaná definice podnikových dat, která jsou nestranná vůči jakékoliv aplikaci a jsou nezávislá na jejím přístupu a fyzickém uložení. Metoda se nepoužívá jako analytický nástroj AS-IS, neboť se jedná

pouze o designovou metodu. Nejlepší využití je návrh logické struktury, a to ve chvíli, kdy jsou známy požadavky na informace, a je rozhodnuto o implementaci relační databáze. Systém se zaměřuje na skutečné datové prvky v databázi. Jakmile je systém objektově orientovaný a není relační, tak je potřeba vybrat jinou metodu [34].



Obrázek 9 Diagram IDEF1X [35]

U metody IDEF1X, tak jako u téměř všech ostatních, se vyskytuje slabina, že modelář musí mít zkušenosti s tvorbou datových modelů. Modelování není intuitivní proces, a proto jsou často vyřazeny modely kvůli špatnému začátku při jejich tvorbě. Je lepší používat jednodušší metodu a model postupně zpřesňovat.

Fáze tvorby modelu:

- Fáze 0 – iniciace projektu
  - definice projektu (projektový plán), konvencí pro modelování, zdrojových materiálů
- Fáze 1 – definice entit
  - identifikace entit v problémové doméně
- Fáze 2 – definice relací

- identifikace základních vztahů mezi entitami
- primární výstupy
- Fáze 3 – definice klíčů
  - definice klíčů pro každou entitu
  - migrace primárních klíčů do cizích klíčů
  - validace relací a klíčů, upřesnění nespécifikovaných relací z fáze 2
- Fáze 4 – definice atributů
  - identifikace všech atributů
  - přiřazení vlastnictví atributů
  - definice neklíčových atributů jednotlivých entit
  - validace a upřesnění datových struktur [26]

Rozdíl mezi IDEF1 (Information Model) vs IDEF1X (Data Model):

Information Model	Data Model
Zaměřeno na: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Shromažďování, uložení a spravování informací danou organizací</li> <li>• Logický vztah v rámci organizace odrážející se v informacích</li> </ul>	Zaměřeno na: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Skutečné datové prvky v relační databázi</li> <li>• Reprezentaci a strukturu dat</li> </ul>
Použito pro: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Identifikační problémy</li> <li>• Definování požadavků</li> <li>• Návrh informačního systému</li> </ul>	Použito pro: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Logický návrh databází a aplikace</li> <li>• Fyzický návrh implementace databáze</li> </ul>

Tab. 3 Rozdíl mezi modely [36]

Protože v příkladu uvádím použití metody IDEF1X, zmiňuji ještě rozdíly její notace diagramů ve srovnání s jinými známými notacemi datového modelování. Metoda IDEF1X využívá principů Entity-relationship modelu (ERM). Tento entitně-vztahový model se v softwarovém inženýrství používá pro abstraktní a konceptuální znázornění dat. Entitně-vztahový modelování je metoda datového modelování, která vytváří jeden z typů konceptuálních schémat či sémantických datových modelů systému (obvykle relační databáze) a požadavků na něj stylem shora dolů. Diagramy vytvořené pomocí této metody se nazývají entity-relationship diagramy, ER diagramy nebo také zkráceně pouze ERD. Konečnou podobu dostalo toto modelování dat od Petera Chena z roku 1976 [37].

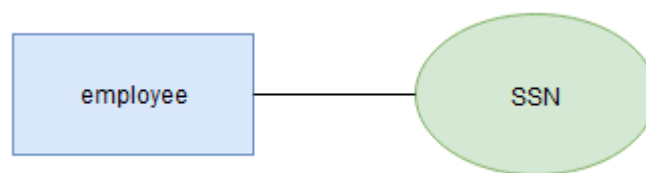
Diagramy IDEF1X se používají již v první fázi návrhu systému při analýze požadavků k popisu informační potřeby nebo typu informací uložených v databázi. Techniky datového modelování se běžně používají pro popis ontologie (tj. přehled a klasifikace použitých pojmů a jejich vztahy mezi sebou) pro určitou oblast zájmu. V případě, že jde o návrh informačního systému založeného na databázi, je konceptuální

model v pozdější fázi (obvykle nazývané logický návrh) namapován na logický datový model, kterým je kupříkladu relační model, ten je pak dále mapován ve fyzické fázi na fyzický datový model [38].

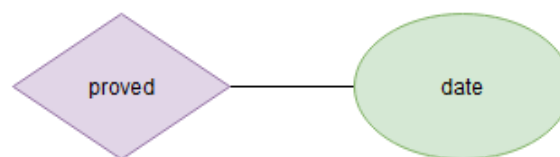
Metoda IDEF1X používá ER diagramy především při logickém návrhu modelu dat.



Obrázek 10 Dvě vztažené entity [autor]



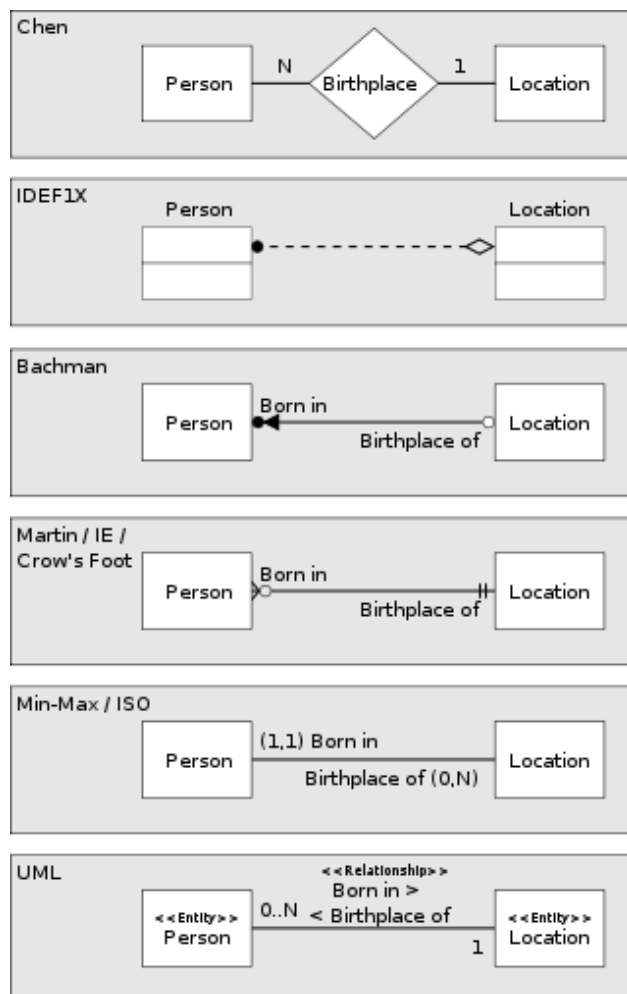
Obrázek 12 Entita obsahující atribut [autor]



Obrázek 11 Vztah obsahující atribut [autor]



Pro porovnání uvádím příklad notace IDEF1X s jinými známými notacemi diagramu ER.



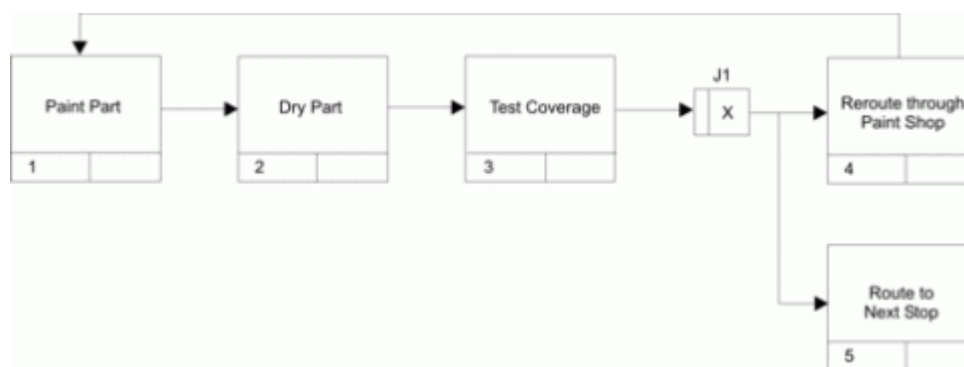
Obrázek 13 Příklad notace IDEF1X [39]

Metoda IDEF3 obsahuje mechanismus pro shromažďování a dokumentaci procesů. Zachycuje prioritní a kauzální vztahy mezi situacemi a událostmi v přirozené formě pro odborníky poskytnutím strukturované metody pro vyjádření znalostí o tom, jak proces, systém nebo organizace pracuje. IDEF3 může:

- Určit dopad informačního zdroje organizace na hlavní provozní scénář podniku.
- Dokumentovat rozhodovací postupy, které ovlivňují vztahy a životní cyklus kritických sdílených dat, převážně definiční údaje o výrobě, údržbě a strojírenství.
- Zaznamenat nezpracovaná data vzniklá z rozhovorů při zjišťování faktů v činnostech systémové analýzy.
- Vytvářet návrh systému a kompromisní analýzy.
- Spravovat konfiguraci dat a definovat zásady řízení změn.

IDEF3 obecně zachycuje aspekty chování existujícího či navrhovaného systému. Tyto znalosti jsou strukturované v kontextu scénáře, a to dělá z IDEF3 intuitivní metodu pro popis systému. Metoda zvládá zachycovat všechny dočasné informace, a to včetně priorit a kauzálních vztahů spojených s podnikovými procesy. Výsledný popis poskytne strukturovanou základnu znalostí pro konstrukci analytických a designových modelů. Strukturované popisy zachycují informace o tom, co systém ve skutečnosti dělá, popřípadě co bude dělat a současně zajišťuje organizaci a vyjádření různých uživatelských pohledů na systém. [40]

IDEF3 se rozděluje na dva popisy režimu – tok procesu a síť pro přechod stavu objektu. Tok procesu je zaměřen na samotnou organizaci, tedy jak to uvnitř funguje, co se stane s jednotlivými částmi a jaká je posloupnost výrobních procesů. Popis sítě přechodu stavu objektu shrnuje povolené přechody, které může objekt podstoupit v průběhu určitého procesu. Oba tyto popisy obsahují jednotky informací, které vytváří kompletní popis systému. Z toho důvodu jsou tyto modelové entity základní jednotkou popisu metody IDEF3. Celý vývoj popisu procesu IDEF3 se skládá z vyjádření shromážděných faktů, na kterých pracují odborníci na doménu. Ty jsou složeny z pěti základních popisných stavebních bloků. [40]



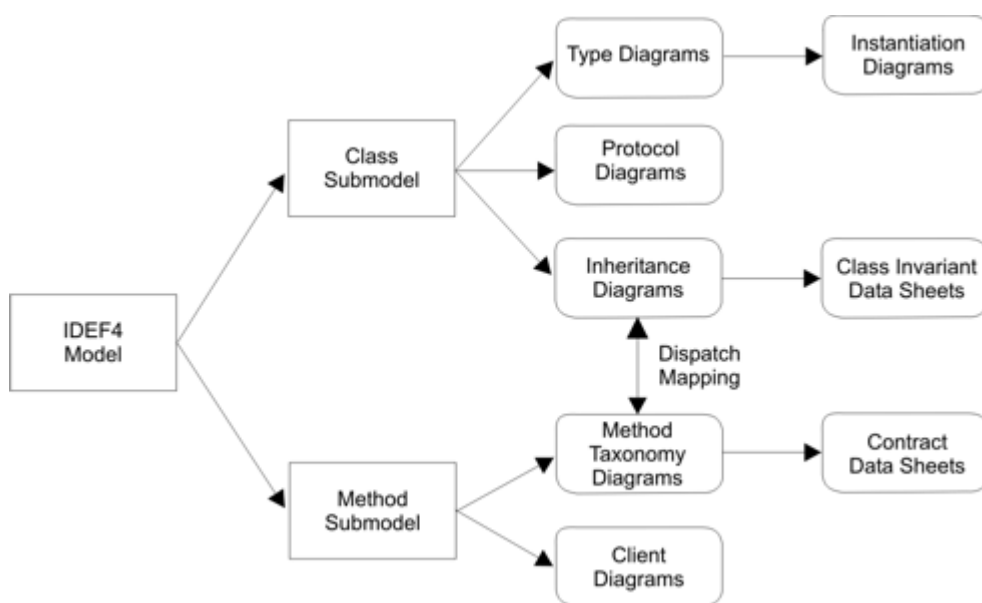
Obrázek 14 Diagram IDEF3 [41]

Přiložený diagram ilustruje příklad stavebních bloků metody IDEF3, který popisuje scénář obvyklý pro výrobní prostředí. V této situaci jde o proces lakování a kontroly spojený s nanášením základního nátěru na kus materiálu, který se stane prvkem podstavy pro těžké stavební zařízení. Jde tedy o znázornění scénáře z pohledu vedoucího lakovny [40].

Objektově orientované programování usnadňuje produkci kódu. Lehká výroba softwaru ovšem sebou nese potíže v tvorbě softwaru se špatným designem, což zapříčiní, že systém postrádá opakovatelnou použitelnost, udržitelnost a modularitu. Metoda IDEF4 napomáhá se toho vyvarovat a pomáhá správnému použití této technologie. IDEF4 vidí objektově orientovaný design jako součást většího celku pro vývoj systému, než jako objektově orientovanou analýzu a metodu návrhu, která je nejednoznačná. IDEF4 používá grafickou syntaxi a digramy jako pomůcky pro zaměření a komunikaci důležitých návrhových problémů. Metoda se značně liší od jiných designových metod,

a to díky tomu, že sledává průnik ve strategii menších závazků a v podpoře hodnocení dopadu návrhu interakce mezi dědičností tříd, funkčním rozkladem, polymorfismem a složením objektů.

IDEF4 rozdělí objektově orientovanou návrhovou činnost na disktrétní, ovladatelné bloky. Jednotlivé dílčí aktivity jsou podporovány grafickou syntaxí. Ta rozhoduje o návrhu, který musí být učiněn a zohledňuje dopad na jiné perspektivy návrhu. Rychlá kontrola požadovaných informací a zamezení zmatků je způsobeno u metody IDEF4 tím, že žádný z diagramů neobsahuje všechny informace obsažené v návrhovém modelu. K zajištění kompatibility mezi různými submodely slouží pečlivě navržené překrytí mezi typy diagramů. Návrhář snadno provádí kompromisy mezi složením třídy, dědičností třídy, funkčním rozkladem či polymorfismem v návrhu [42].



Obrázek 15 Diagram IDEF4 [43]

Na obrázku lze pozorovat základní organizaci modelu IDEF4. Model se skládá ze dvou submodelů:

- Submodel třídy
- Submodel metody

Tyto dva submodely jsou propojeny pomocí tzv. „Dispatch Mapping“. Struktury zachycují veškeré informace představené v návrhovém modelu. Vzhledem k velkému množství submodelů tříd a metod, návrhář nikdy nevidí tyto struktury jako jeden komplet. Navrhuje kolekci menších diagramů a datových listů, které efektivně zachycují informace, a ty jsou prezentovány v submodelech tříd a metod [42].

Submodel třídy se skládá z:

- Typový diagram (určuje složení tříd)
- Instanční diagram (popisuje scénáře instance objektu, který napomáhá návrhářovi při ověření návrhu)
- Diagram protokolu (specifikuje protokoly, které vedou k vyvolání metody)

- Dědičný diagram (určuje vztahy dědičnosti tříd)

Submodel metody se skládá z:

- Diagram taxonomie metod (klasifikuje typy metod dle podobnosti chování)
- Klientský diagram (ilustruje klienty a dodavatele metod pro specifikaci funkčního rozkladu) [42]

### 3.3 Počítačová podpora metody IDEF

Existuje velké množství softwarů, které zpracovávají diagramy. Jako jeden z nejlépe hodnocených, a současně mezi značně praktické, se řadí Microsoft Visio. Jedná se o program možná zbytečně podceňovaný. Podporuje tvorbu diagramů, vizualizaci dat a modelování procesů v jednoduchém rozhraní. Pro snadnou a úspěšnou tvorbu přichází s řadou šablon a předdefinovaných tvarů, které poskytují příležitosti ke tvorbě téměř jakkoliv složitého diagramu. Současně umožňuje uživatelům definovat vlastní tvary a importovat je do výkresů [44].

Visio najde své uplatnění spíše u podnikové třídy, neboť klasický uživatel plně nevyužije všechny pokročilé funkce, které program nabízí. Přesto si však software našel cestu k těmto uživatelům, kteří hledají lepší vizualizaci pro tvorbu půdorysu domu, či rodokmenu. Lze ho využívat samostatně, kdy uživatel může získat, upravit a třeba umístit na web výkres nebo skupinu výkresů – diagramů, schémat tabulek [45]. Velmi často se však výkresy tvoří proto, aby byly využité v jiném programu. Visio má úspěch v integraci s dalšími produkty Microsoft Office (textový editor Word, tabulkový kalkulátor Excel, prezentační program PowerPoint). Z toho důvodu dochází k jednoduchému importu dat ze zmíněných softwarů do programu Visio, kde se převedou na smysluplné diagramy, které se mění v souladu s daty v reálném čase. Například Excel může obsahovat tabulku s naměřenými hodnotami spotřeby plynu v rodinném domě. Ta bude převedena do programu Visio, který vytvoří příslušný diagram a případné změny spotřeby se okamžitě projeví v daném diagramu.

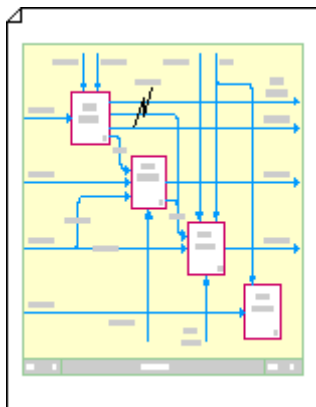
Visio má řadu uživatelských příruček a návodů. Téměř všechny jsou psány v angličtině, ale jedna z nich [45] byla vytvořena pro české uživatele. Příručka je velmi kvalitně zpracována a funkce programu jsou jednoduše popsány pro běžného uživatele.

Značnou výhodou programu Visio jsou přednosti ve srovnání s obyčejnými kreslicími programy. Další hlavní výhodou je, že přímo obsahuje možnost tvorby diagramů metody IDEF0.

#### 3.3.1 Návod na tvorbu diagramu IDEF0 ve Visio

Jak bylo zmíněno v kapitole 3.2.1 metoda IDEF představuje integrační definici pro modelování procesů, metodologii veřejné domény, která se používá k modelování podniků a jejich procesů, aby je bylo možné pochopit a zlepšit. Diagram IDEF0 se skládá z následujících součástí:

- Kontextový diagram – nejvyšší diagram v modelu IDEF0
- Nadřazený nebo podřízený diagram – hierarchie rozkladu IDEF0
- Stromy uzlů – stromové struktury uzlů, které jsou v určitém uzlu kořenové a slouží ke znázornění úplného rozkladu IDEF0 v jednom diagramu



Obrázek 16 Diagram IDEF0 v MS Visio [46]

Vytvoření kontextového diagramu se skládá z následujících kroků:

1. Po spuštění programu VISIO klikněte na kategorii vývojové diagramy, zde vyberte diagram IDEF0 a ten vytvořte.
2. V dalším kroku přidejte blok názvu uzlu, názvu a čísla diagramu.
  - Ze vzorníku diagramů IDEF0 je třeba přetáhnout na stránku výkresu obrazec nadpisový blok.
  - V dialogovém okně data obrazce zadejte název uzlu. Je možnost i přidat název a číslo diagramu.
  - Vyberte vzdálenost, o kterou chcete použít odsazení ohraničení nadpisu, od vnějšího okraje stránky. Poté potvrďte stisknutím OK.
3. Přidání polí aktivit (pole funkcí) do diagramu.
  - Ze vzorníku diagramů IDEF0 přetáhněte do nadpisového bloku obrazec činnost.
  - V dialogovém okně data obrazce zadejte název procesu. Pro ID procesu se používá výchozí číslo a0. To představuje proces nejvyšší úrovně. V části ID poddiagramu zadejte ID diagramu rozkladu, pokud je proces rozkladný
4. Přidejte šipky externího rozhraní (popřípadě omezení).
  - Z obrazců diagramu IDEF0 přetáhněte na stránku výkresu v nadpisovém bloku obrazec blok textu.
  - Pokud chcete přidat text, který spojnicí popisuje, vyberte spojnicí a zadejte ho.
5. Přidání účelových stanovisek.

- Z obrazců diagramu IDEF0 přetáhněte na stránku výkresu 1 legged spojnice a přetáhněte jejich koncové body na spojovací body v polích aktivit.
  - V případě přidání textu, který spojnici popisuje, tak ji vyberte a zadejte text.
6. Přidání účelových stanovisek.
- Z obrazců diagramu IDEF0 přetáhněte na stránku výkresu v nadpisovém bloku obrazec blok textu.
  - Přetažením bočního úchyty roztáhněte blok textu po šířku bloku nadpisu.
  - S vybraným obrazcem zadejte text popisující záměr a účel vytvářeného modelu [47].

Zde je popsán podrobný návod na tvorbu kontextového diagramu metody IDEF0 v programu Visio. Další možnosti tvorby nadřazených/podřazených diagramů a uzlů jsou více popsány v manuálu programu [47].

## 4 PŘÍKLAD POPISU CPS METODOU IDEF

### 4.1 Charakteristika vybraného systému

V dostupné literatuře jsem našel pouze články s popisem obecných zkušeností při použití metody IDEF (viz závěr práce) autorů z výzkumných a univerzitních pracovišť. Nenalezl jsem žádný publikovaný článek nějaké dodavatelské či uživatelské firmy s popisem jejího kyberfyzikálního konceptu, jelikož dodavatelské ani uživatelské firmy nemají zájem a nechtějí zveřejnit popis konkrétně navržených systému, protože to považují za své know-how. Měl jsem k dispozici pouze literaturu realizace systému automatického řízení [48.].

Nabízela se možnost popsat CPS robotické buňky v laboratoři Ústavu automatizace a informatiky, ale v režimu distanční výuky a uzavřených laboratoří to nebylo možné. Navíc tak rozsáhlý systém by nebylo možné stihnout v rámci termínu diplomové práce. Proto po konzultaci s vedoucím diplomové práce byl zvolen automatizovaný systém navržený v mé bakalářské práci, kde byla řešena problematika „Využití automatizace v domácnosti“ a navržen automatizovaný systém regulace ústředního topení v rodinném domě [49]. Systém jsem řešil už s využitím progresivních automatizačních prvků digitalizované regulace (ekvitermní regulátor, čidla, datová komunikace, digitální termostat). Popis systému v bakalářské práci jsem provedl klasickou popisnou metodou a pomocí obrázků, proto bude patrný rozdíl mezi klasickým popisem a popisem s využitím metody IDEF. Charakteristiku ve zkrácené verzi uvádím, jak jsem ji prezentoval v bakalářské práci (kap. 3 a 4), kde jsem popsal navržený systém. Z textu jsem vypustil odkazy na seznam použité literatury a číslování obrázků [[https://www.vutbr.cz/www\\_base/zav\\_prace\\_soubor\\_verejne.php?file\\_id=191488](https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=191488)].

Ekvitermní regulátor je zařízení, které je určeno k automatické regulaci teplovodních topných systémů. Regulátor pracuje podle ekvitermní křivky, ze které se řídí dle několika bodů. Ty upravuje v širším rozmezí tak, aby bylo dosaženo nejkomfortnější teploty. Ke křivce je schopno přiřadit korekce, které se zohlední v opakovaném cyklu. Jedná se například o týdenní cyklus, kde mohou být nastaveny velikosti teplot během jednotlivých dnů, též i s rozlišením konkrétních časových intervalů. Například rozlišení pracovního dne, volných víkendů, při přechodech těchto dnů, tedy ztlumení během noci.

Ovládání daného regulátoru, funkce diagnostiky či zpracování jeho parametrů nám vyobrazuje systémové menu. To je vyobrazeno na LED displeji, na kterém jsou textové zkratky. Ty jsou dále popsány v manuálech.

Mezi funkce diagnostiky stojí za zmínku rozlišení letní a zimní sezóny. V zimním období řídí teplotu ohřívaného média podle ekvitermní křivky. V letním období regulátor neřídí teplotu ohřívaného média, protože je topení vypnuto v tomto režimu. Jednou během týdne sepne řídicí relé pro nárůst a následný sestup. Je to z důvodu zajištění

správné funkce topné soustavy, jako je ochrana před zatuhnutím regulačních ventilů a čerpadel.



Ekvitermní regulátor

Autonomní regulace je regulace topení jednotlivých místností v domě. Je to něco mezi základní regulací a komplexní regulací topení. Dosahuje dobrých úspor na topných nákladech, i teplotním komfortu. Při autonomní regulaci je v každé jednotlivé místnosti samostatný regulační termostat, který reguluje topné těleso. Všechny místnosti jsou vzájemně na sobě nezávislé. Kotel se nereguluje, nýbrž běží na svůj vlastní vnitřní termostat.

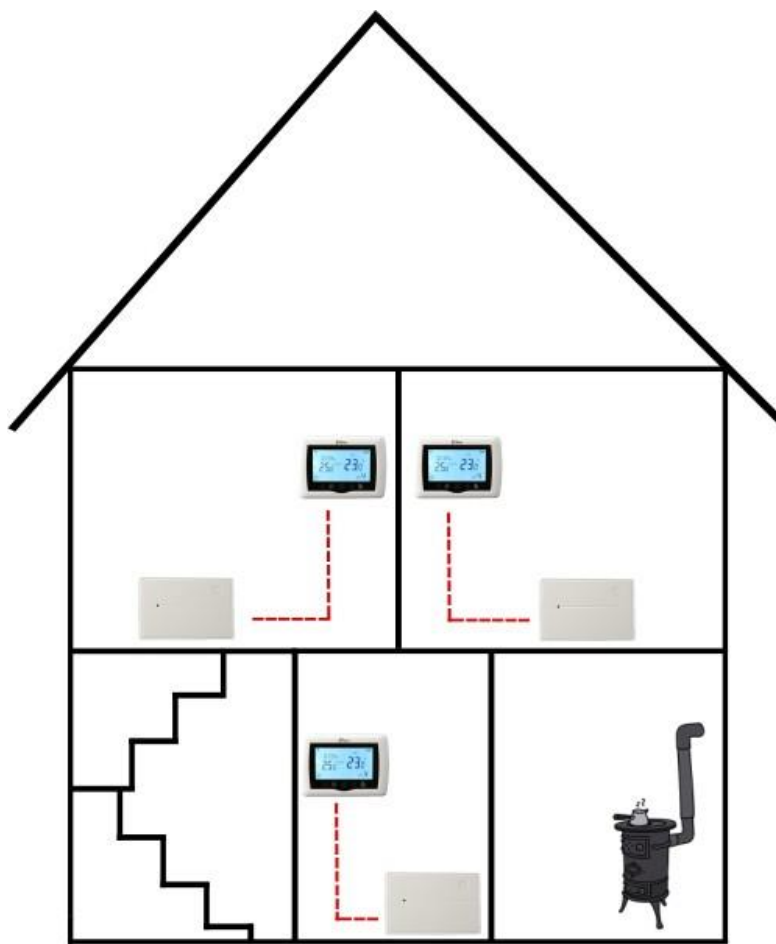
#### **Výhody autonomní regulace topení:**

- Vysoké úspory na topných nákladech
- Výborný teplotní komfort každé místnosti
- Nezávislá regulace každé místnosti
- Lokální propojování bez rozvodů do kotelny

#### **Nevýhody autonomní regulace topení:**

- Nelze regulovat kotel a tím dosáhnout maximálních úspor
- Nelze vzdáleně ovládat celý topný systém
- Ohřívá se topná voda, i když není nutno topit





Autonomní regulace vytápění domu

Regulace teploty u plynových kotlů je velice důležitým aspektem, který se podílí na řízení spotřeby paliva. Je to vylepšená elektronická regulace kotle. Funkcí SRA neboli „Systému regulační automatiky“ se rozumí jakožto optimalizační funkcí kotle v režimu topení. Funkce SRA optimalizuje teplotu kotle v návaznosti na připojené regulační prvky (vnitřní a venkovní teplotu) a zabráňuje tak zbytečnému přetápění místnosti. Kotel si automaticky vypočítá teplotu kotle. Tuto automatickou teplotu můžeme manuálně snížit nebo zvýšit (posunout) voličem teploty.

Tuto funkci lze jednoduše vypnout pomocí mechanického tlačítka SRA, který se nachází na ovládacím panelu kotle. Přejdeme díky tomu z automatického do manuálního režimu. Zde je již teplota kotle přednastavena uživatelem a nedochází k složitému přestavování.

V předchozích bodech byly popsány různé druhy regulací a jejich využití v domácnosti. V této kapitole si popíšeme regulátor EUROSTER UNI3 a jeho funkce pro systém vytápění.

Je to ovladač pro topný systém založený na počasí. Euroster UNI3 je určen pro řízení 3 okruhů ústředního topení se směšovacími ventily (například radiátor a systém

podlahového vytápění). Má možnost nezávislého nastavení teploty a křivky počasí pro každý okruh. Umožňuje nezávislé ovládání každého okruhu spolu s pokojovým termostatem a týdenním programem. Ovládá hlavní zdroj tepla vlastním regulátorem např. plynový kotel a přídatný zdroj tepla. Ruční nebo automatické přepínání letní/zimní sezóny (možné nastavení počátečního a konečného data topného období. Výběr režimu provozu obvodu zapnutím a vypnutím čerpadla, nebo snížením teploty směšovací ventil s trvale zapnutým čerpadlem. Využití tepla vygenerovaného v přídatném zdroji tepla (krb, kotel). Výstup pro kotel, nebo ovládání přídatného topného zařízení. Komunikace – možnost kombinování několika řídicích jednotek UNI3 a UNI2 za účelem ovládání přídatných systémů. Možnost vypnutí ovládání směšovacího ventilu, nebo úplné vypnutí okruhu. Funkce anti-stop (ochrana čerpadel a ventilů před zkratem). Záznam o nebezpečných a poplachových událostech. Ochrana proti přehřátí pro každý okruh. Signál při každém přesáhnutí povolené teploty. Možnost zapnutí funkce proti zamrznutí.

#### **Technické údaje:**

- Určeno pro: 3 centrální topné okruhy s čerpadly a směšovacími ventily
- Zdroj: 230V / 50Hz
- Maximální spotřeba: 4 W
- Maximální zatížení výstupu: 100 W (každý výstup)
- Výstupy regulátoru: relé, napěťové typy pro čerpadla, relé alarmových pohonů
- Rozsah měření teploty: - 30 až +110 °C
- Rozsah regulace teploty: 15 až +90 °C
- Přesnost regulace teploty: 1 °C
- Přesnost měření teploty: 1 °C
- Rozsah pracovní teploty: 5 až 40 °C
- Vizuální signalizace: podsvícený LCD display, LED RGB
- Skladovací teplota: 0 až 45 °C
- Stupeň ochrany: IP 20
- Hmotnost: 0,545 kg
- Maximální rozměry (š × v × h): 159,5 × 90 × 59 mm
- Balení obsahuje: ovladač UNI3, napájecí kabel, teplotní senzory 6 ks, klipy pro montáž kabelu snímače, šroubované kotvy, manuál



Regulátor EUROSTER UNI3

Pokojevý termostat je zařízení, které má udržovat nastavenou teplotu v prostoru. Vzhledem k tomu, že vytápění je dynamický proces, je třeba zakomponovat hysterezi do termostatu a tím tak určit, při jaké teplotě systém přestává vytápět, a naopak při které znovu vytápění zapíná. Tyto signály jsou následně zpracovávány v řídicí jednotce topného systému.

Elektronický termostat s datovou komunikací je propojen s řídicí jednotkou topného zařízení (plynový kotel, elektrokotel, solární systémy, chlazení apod.). Tyto termostaty komunikují dle protokolu a umožňují tak provádět okamžité reakce podle změny stavu v prostoru objektu. Poskytují vysoký komfort nejen v nastavení požadované teploty, ale lze z nich zcela řídit celý systém vytápění a nastavení jednotlivých parametrů.

**Výhody:**

Optimalizace vytápění celého systému s možností úspory značných finančních výdajů (zhruba 30%).

**Nevýhody:**

Největší nevýhodou zmíněného termostatu je ta, že obsluha musí být částečně technicky vzdělaná, aby byla schopna ovládat termostat.

Teplotní čidlo je určeno pro snímání venkovní teploty vzduchu. Mezi typická použití těchto čidel patří měření venkovní teploty jako optimalizačního parametru při řízení výkonu topných zařízení (vybavených vhodnou řídicí jednotkou) nebo měření venkovní teploty v systémech s ekvitermními regulátory.

Venkovní čidlo se instaluje na vnější plášť budovy, na stinnou, nejlépe severní stranu do výše 1,5 – 2,5 metru. Současně je třeba dbát, aby čidlo nebylo ovlivňováno:

- Zdrojem přímého slunečního záření
- Ventilačními otvory
- Dalšími tepelnými zdroji (komín, dveře, odvětrávání kanalizace, větrací šachty atd.)



1)

Čidlo venkovní teploty

Termostatická hlavice je mechanické zařízení, které udržuje konstantní teplotu v místnosti tím, že otevírá/zavírá termostatický ventil v otopném tělese a reguluje přívod topného média. Hlavice je založena na systému roztažnosti kapalin v závislosti na teplotě. Při zvýšení teploty v místnosti se kapalina v hlavici roztáhne, vysune píst, který následně uzavře uzavěr termostatického ventilu. Je to velmi jednoduchý způsob udržení nastavené teploty v místnosti, pokud jsou dodrženy parametry otopných těles potřebné pro zajištění přenosu tepla z topného média do místnosti. Jedná se o nezbytný doplněk topného systému regulace vytápění.

Může být nahrazen elektronickými hlavicemi řízenými z centrálního systému vytápění. Čím složitější systém vytápění, tím lze dosáhnout větších úspor.

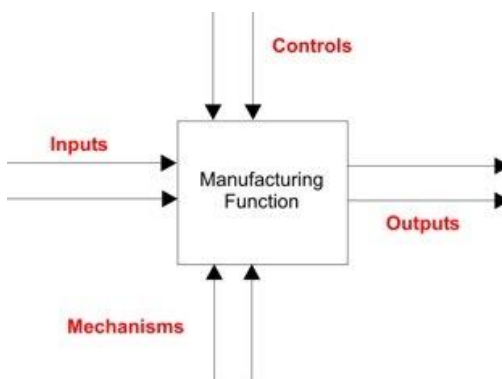


Termostatická hlavice

## 4.2 Popis systému metodou IDEF

### 4.2.1 Příklad použití metody IDEF0

Základní metodou popisu IDEF je metoda funkčních modelů IDEF0, která slouží k popisu a specifikaci funkcí navrhovaného systému. K tomu používá IDEF0 základní diagramovou blokovou komponentu ICOM (Input, Control, Output, Mechanism), graficky nakreslenou následovně:



Obrázek 17 Grafické znázornění IDEF0 [30]

Ve zvoleném příkladě se jedná o funkční bloky:

- Elektronický regulátor UNI3 – identifikátor ERU
- Kotel ústředního topení – identifikátor KUT
- Termostatická hlavice radiátoru 1 – identifikátor TH1
- Termostatická hlavice radiátoru 2 – identifikátor TH2
- Termostatická hlavice radiátoru 3 – identifikátor TH3

Řídící funkce nastavení jsou tyto

- Nastavení UNI 3 na požadovaný režim ekvidistantní regulace – identifikátor NER
- Nastavení výkonu kotle UT – identifikátor NVK
- Nastavení teploty radiátoru 1 – identifikátor NT1
- Nastavení teploty radiátoru 2 – identifikátor NT2
- Nastavení teploty radiátoru 3 – identifikátor NT3

Vstupy do bloků:

- Hodnota vnější teploty – identifikátor VNE
- Hodnota požadované vnitřní teploty – identifikátor VNI
- Hodnota teploty v místnosti 1 – identifikátor HT1
- Hodnota teploty v místnosti 2 – identifikátor HT2
- Hodnota teploty v místnosti 3 – identifikátor HT3
- Vratná voda rozvodu UT – identifikátor VVR
- Ohřátá voda rozvodu UT – identifikátor OVR

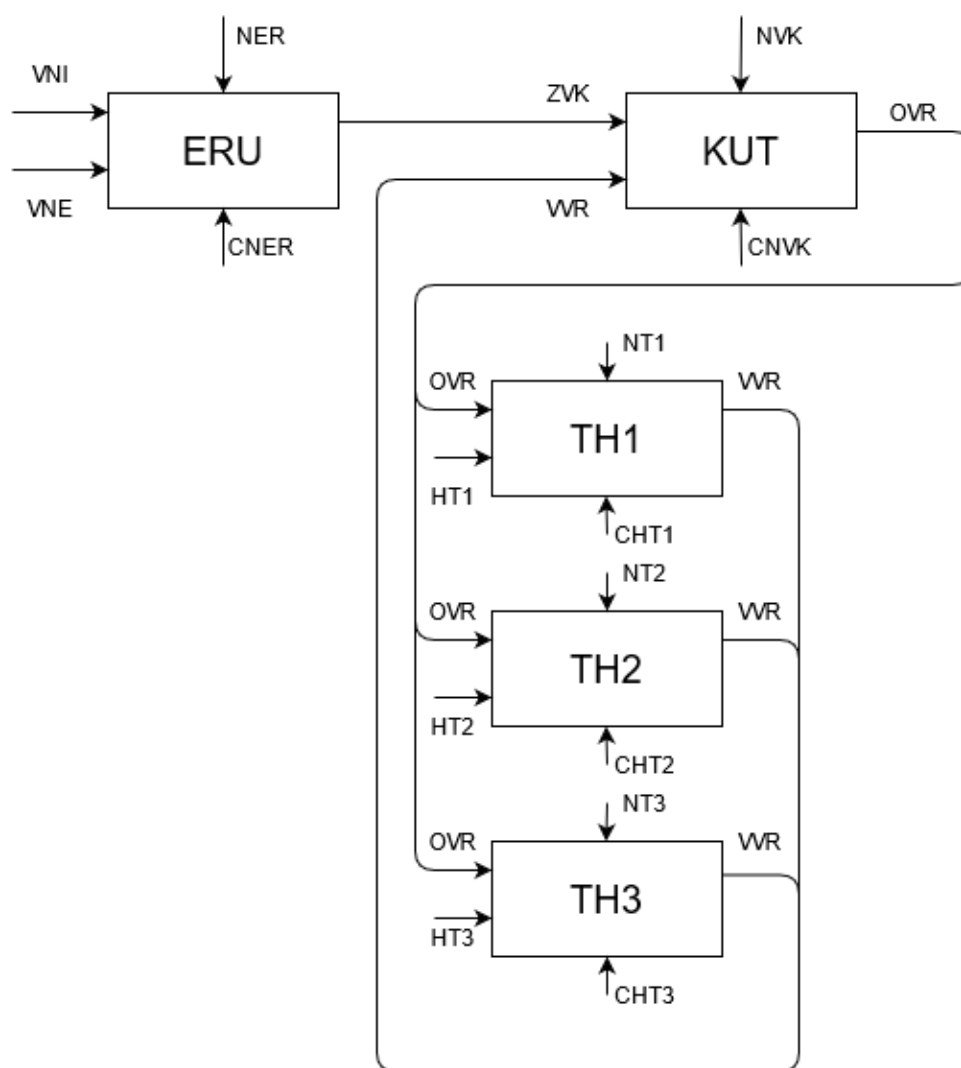
Výstupy z bloků:

- Zapínání/vypínání kotle – identifikátor ZVK
- Ohřátá voda rozvodu UT – identifikátor OVR
- Vratná voda rozvodu UT – identifikátor VVR

Řídicí mechanismy:

- Program řízení UNI 3 – identifikátor CNER
- Program řízení kotle UT – identifikátor CNVK
- Chování termostatické hlavice radiátoru 1 – identifikátor CHT1
- Chování termostatické hlavice radiátoru 2 – identifikátor CHT2
- Chování termostatické hlavice radiátoru 3 – identifikátor CHT3

Protože VUT vyřadilo program Visio ze souboru programů, které jsou zakoupeny k používání zaměstnanci a studenty, použil jsem pro kreslení diagramů software draw.io. Diagram IDEF0 uvádím na obr. 18



Obrázek 18 Diagram IDEF0 pro automatizovaný systém řízení vytápění RD

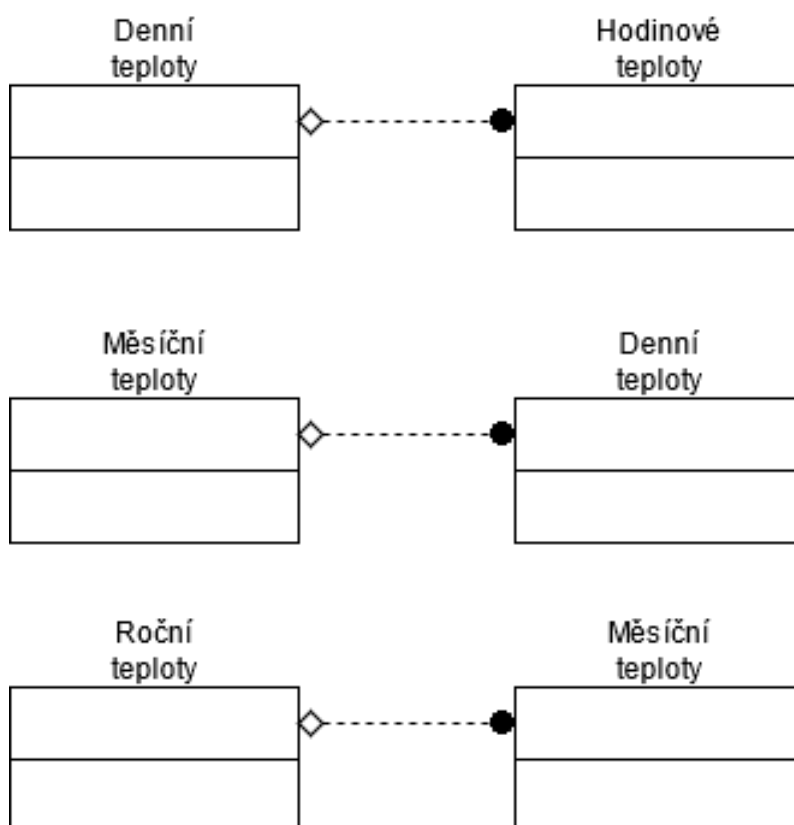
#### 4.2.2 Použití metody IDEF1X

V rozsáhlých kyberfyzikálních systémech je potřeba provést vždy velmi důkladně datovou analýzu dat, se kterými systém pracuje. V tomto případě se nejedná o kyberfyzikální systém, neboť plně digitálním automatickým systémem řízení by bylo nutno navrhnout model datové databáze prostřednictvím metody IDEF1X.

Například předpokládám, že v systému by byly měřeny následující hodnoty:

- T1 – hodnota vnější teploty na počátku každé hodiny (24 hodnot za den)
- T2 – hodnota vnitřní teploty ve vybrané místnosti na začátku každé hodiny

Tyto hodnoty by byly ukládány pro každý den a identifikovány primárním klíčem (číslem) hodiny. Pro každý den by bylo uloženo 24 dvojhodnot teplot. Den by byl identifikován primárním klíčem RRRRMMDD. Z těchto hodnot by bylo možno vypočítat pro každý den průměrnou vnitřní a vnější teplotu a ty uložit. Pro každý měsíc by bylo uloženo max 31 průměrných dvojhodnot, přičemž měsíc by byl indikován primárním klíčem RRRRMM. Pro každý rok s primárním klíčem RRRR by pak bylo možno dohodnutým způsobem zpracovat a uložit jeho 12 výkazů. S využitím metody IDEF1X by bylo možno toto zachytit třemi jednoduchými entitními diagramy typu 1:N viz obr. 19.



Obrázek 19 Diagram IDEF1X

V složitých kyberfyzikálních systémech, kde je potřeba ukládat různé hodnoty pro řízení, hodnoty o uplynulém provozu a řadu diagnostických hodnot, sledovat zhotovené výrobky, plánovat výrobu apod., nejen pro všechny výrobní stroje, ale i pro pomůcky, přípravky, nástroje a použitý materiál, přičemž je nutno sledovat tok polotovarů, zmetků a kvalitních hotových výrobků, by takový datový model byl mnohonásobně složitější.



## 5 ZÁVĚR

Zadáním diplomové práce mi bylo uloženo:

- Analyzovat výhody a nevýhody různých druhů popisu kyberfyzikálních systémů
- Popsat vybranou metodu, která splňuje většinu současných požadavků na návrh CPS.
- Zpracovat příklad specifikace vybrané kyberfyzikální soustavy.

Na stránkách mezinárodní sítě Internet jsem našel řadu článků, které jsem použil ke zjištění, jak se používá metodologie IDEF v současné praxi. Autoři článku na konferenci o výrobních systémech, který se konala v roce 2017, prezentovali případovou studii využívající IDEF0 při návrhu redistribuované výroby [50]. Jiný článek ukazuje zkušenost z roku 2015, že existující modelovací jazyk, Integration Definition for Function Modeling (IDEF0), najde upotřebení při použití ve strategickém modelování a pro automatizaci vývoje a implementace strategického plánu. Využití IDEF0 pro modelování systémů automatizovaných výrobních systémů zjednodušuje vývoj strategických plánů a posouvá strategické plánování a řízení od dosavadní praxe používáním popisných dokumentů k přístupu založeném na modelech a softwaru. Autoři uvádějí, že hlavní výhodou IDEF0 je osvědčený jazyk a komplexní technika modelování systémů. Výsledné modely IDEF0 jsou dobře definované, dobře strukturované, snadno pochopitelné, snadno se upravují, používají a lze je rozšířit do jakékoliv hloubky detailů. Zdůrazňují, že IDEF mohou použít jak na malé a střední výrobní podniky, tak lze tento přístup použít pro rozvoj strategie a automatizaci jakékoliv velké společnosti či organizace [51]. Další z článků prezentuje aplikaci nejen metod IDEF0, ale i metody IDEF1X a IDEF3 [52]. Tyto články uvádím jako důkaz, že metodologie IDEF je používána a doporučována pro návrh současných výrobních systémů digitalizované či robotizované výroby, a proto jsem si ji vybral k podrobnějšímu popisu.

Předtím jsem však přesněji vymezil pojem CPS, jak je vnímán v dnešním konceptu Industry 4.0 ve 2. kapitole, kde jsem také popsal model RAMI 4.0, který standardizuje obsah a postup tvorby CPS. Dále jsem rozebral současné metodologické požadavky pro návrh CPS, kdy jsem si všiml jejich různých výhod a nevýhod.

V 3. kapitole jsem popsal vybranou metodu IDEF jako celek i její dílčí metody a tím jsem se snažil splnit 2. bod zadání. Popis metody dokazuje, že IDEF je velmi komplexní. Celkem 16 různých dílčích metod poskytuje možnost skutečně dobře popsat navrhovaný systém.

Protože dnes není možné navrhovat tak složité systémy bez využití počítačové podpory, popsal jsem v 3. kapitole program MS Visio, který je velmi rozšířený, takže není problém získat jeho licenci za určitý poplatek. Poskytuje všeobecné využití v rámci firmy, nejen pro počítačovou podporu metody IDEF. Na stránkách mezinárodní počítačové sítě Internet je velmi mnoho návodů a různých doporučení pro ovládání tohoto programu, a to dokonce včetně speciálně orientovaných na kreslení diagramů IDEF. To dokazuje intenzivní používání tohoto programu, a navíc i používání metody IDEF.

Naneštěstí VUT odstoupilo od zařazení tohoto programu mezi software, který může být používán jeho pracovníky a studenty. Musel jsem proto nakreslení diagramů řešit náhradním způsobem, a to použitím softwaru Draw.io.

Pro naplnění třetího cíle – zpracovat konkrétní příklad použití metody IDEF, jsem využil systém, který jsem navrhoval ve své bakalářské práci. I když to není typický CPS, už jsem v něm použil prvky, které dnes tvoří součást chytrých domů a chytrých měst. V příkladu jsem demonstroval použití metody IDEF0 a naznačil jsem, jak a pro co by se použila metoda IDEF1X. Snažil jsem se, aby moje diplomová práce poukázala na potřebu používání nějaké sofistikované metodologie pro návrh a dokumentaci kyberfyzikálních systémů koncepce Industry 4.0. Takový přístup považuji za velmi potřebný a přínosný.

Doporučuji, aby v příštím období byla zadána závěrečná práce, která by pomocí metody IDEF popsala systém robotické buňky konceptu Industry 4.0 v naší laboratoři.

Dále doporučuji, aby zmínka o metodě IDEF byla zařazena do výuky předmětu OP4, který pro celou fakultu vyučuje náš ústav. Výuka metody IDEF byla zařazena do výuky automatizačních odborníků např. na ČVUT Praha [26].

## 6 SEZNAM LITERATURY

- [1] *Průmysl 4.0* [online]. [cit. 2021-02-15]. Dostupné z:  
[https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/7/7a/Industry\\_4.0\\_%28cs%29.png](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/7/7a/Industry_4.0_%28cs%29.png)
- [2] CEJNAROVÁ, Andrea. Od 1. průmyslové revoluce ke 4. *Technický portál* [online]. 2015 [cit. 2021-02-05]. Dostupné z:  
[https://www.technickytydenik.cz/rubriky/ekonomika-byznys/od-1-prumyslove-revoluce-ke-4\\_31001.html](https://www.technickytydenik.cz/rubriky/ekonomika-byznys/od-1-prumyslove-revoluce-ke-4_31001.html)
- [3] KOLÍBAL, Zdeněk a kol. Roboty a robotizované výrobní technologie. Brno: VUTUM, 2016, 800 s. ISBN 978-80-2114-826
- [4] JAZDI, N. Cyber physical systems in the context of Industry 4.0. *2014 IEEE International Conference on Automation, Quality and Testing, Robotics*. 2014, 1-4.
- [5] JIRKOVSKÝ, Václav. *Semantic integration in the context of cyber-physical system*. Praha, 2017. Disertační práce. ČVUT.
- [6] ZEŽULKA, František, Ivo VESELÝ a Vlastimil BRAUN. Úvod do problematiky a základní modely Industry 4.0. *System online* [online]. Brno, 2017 [cit. 2021-03-15]. Dostupné z: <https://www.systemonline.cz/rizeni-vyroby/uvod-do-problematiky-a-zakladni-modely-industry-4.0.htm>
- [7] *Cyber Physical Systems* [online]. [cit. 2021-03-15] Dostupné z:  
[https://www.2b1stconsulting.com/wp-content/uploads/2018/01/Cyber-Physical-Systems\\_CPS.png](https://www.2b1stconsulting.com/wp-content/uploads/2018/01/Cyber-Physical-Systems_CPS.png)
- [8] SUH, S.C.; TANIK, U.J.; CARBONE, J.N.; EROGLU, A.. *Applied Cyber-Physical Systems*. New York: Springer Science 2014, 265 p. ISBN 978-1-4614-7336-7
- [9] *Úvod do problematiky a základní modely Industry 4.0* [online]. [cit. 2021-03-13]. Dostupné z: [https://www.ccb.cz/images\\_aqua/2017/leden/01-compas-02x.png](https://www.ccb.cz/images_aqua/2017/leden/01-compas-02x.png)
- [10] IEC 62264-1. *Enterprise-control system integration—Part 1: Models and terminology*. 1. 2003.
- [11] IEC 62264-2. *Enterprise-control system integration – Part 2: Object model attributes*. 1. 2004.
- [12] IEC 62264-3. *Enterprise-control system integration – Part 3: Activity models of manufacturing operations management*. 1. 2007.
- [13] IEC 62264-4. *Enterprise-control system integration –Part 4: Object model attributes for manufacturing operations management integration*. 1. 2015.

- [14] IEC 62264-5. *Enterprise-control system integration –Part 5: Business to manufacturing transactions*. 2. 2016.
- [15] IEC PAS 62264-6. *Enterprise-control system integration – Part 6: Messaging Service Model*. 1. 2016.
- [16] *Rozložení CASE nástrojů* [online]. [cit. 2021-05-12]. Dostupné z: [https://www.tutorialspoint.com/software\\_engineering/images/CASEtools.png](https://www.tutorialspoint.com/software_engineering/images/CASEtools.png)
- [17] *Software Case Tools Overview* [online]. [cit. 2021-05-11]. Dostupné z: [https://www.tutorialspoint.com/software\\_engineering/case\\_tools\\_overview.htm](https://www.tutorialspoint.com/software_engineering/case_tools_overview.htm)
- [18] DEMARCO, Tom. *Structured analysis and system specification*. Englewood Cliffs, New Jersey: Prentice Hall International, 1979. ISBN 0-13-854380-1.
- [19] TEICHOROEWD., BASTARCHE M.: PSL User Manual. ISDOS WP. 98, University of Michigan, Ann Arbor, 1979
- [20] BJORNER D. (1979) The vienna development method (VDM). In: Blum E.K., Paul M., Takasu S. (eds) *Mathematical Studies of Information Processing. Lecture Notes in Computer Science*, vol 75. Springer, Berlin, Heidelberg. [https://doi.org/10.1007/3-540-09541-1\\_33](https://doi.org/10.1007/3-540-09541-1_33)
- [21] CHANDOR A., GRAFAM J. WILLIAMSON R.: *Praktická systémová analýza*. ALFA Bratislava 1974
- [22] HUMBY, Edward. *Programs from Decision Tables (Computer monographs № 19)*. 1. Michigan: American Elsevier, 1973. ISBN 978-0444195692.
- [23] SALEH, SABBIR & RAHMAN, Mohammed & Pavel, Khondoker. (2017). Comparative Study on the Software Methodologies for Effective Software Development. *International Journal of Scientific and Engineering Research*. 8. 1018-1025.
- [24] IEC 62890. *Industrial-process measurement, control and automation –Life-cycle-management for systems and components*. 1. 2020.
- [25] MANENTI, Giorgio & Ebrahimiarestan, Mina & Yang, LAN & YU, Ming. (2019). Functional Modelling and IDEF0 to Enhance and Support Process Tailoring in Systems Engineering. 10.1109/ISSE46696.2019.8984539. (IDEF)
- [26] ŠEBEK, Jiří. *IDEF - integration definition: Návrh softwarových systémů* [online]. In: . [cit. 2021-04-09]. Dostupné z: [https://cw.fel.cvut.cz/old/\\_media/courses/b6b36nss/prednasky/idef.pdf](https://cw.fel.cvut.cz/old/_media/courses/b6b36nss/prednasky/idef.pdf)

- [27] The Complete Guide To Understand IDEF Diagram. *EdrawMax* [online]. [cit. 2021-04-23]. Dostupné z: <https://www.edrawmax.com/article/the-complete-guide-to-understand-idef-diagram.html>
- [28] MAYERS, Richard J. *IDEF Methods* [online]. 1995 [cit. 2021-04-25]. Dostupné z: [https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/5/50/IDEF\\_Methods.jpg](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/5/50/IDEF_Methods.jpg)
- [29] IDEF0 - Function Modeling Method. *Integrated Definition Methods (IDEF)* [online]. [cit. 2021-04-25]. Dostupné z: [https://www.idef.com/idefo-function\\_modeling\\_method/](https://www.idef.com/idefo-function_modeling_method/)
- [30] *IDEF0 Box and Arrow Graphics* [online]. [cit. 2021-04-28]. Dostupné z: <https://www.idef.com/wp-content/uploads/2016/02/0Fig1.gif>
- [31] *Decomposition Structure IDEF0* [online]. [cit. 2021-04-28]. Dostupné z: [https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/c/ca/6\\_Decomposition\\_Structure.svg/699px-6\\_Decomposition\\_Structure.svg.png](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/c/ca/6_Decomposition_Structure.svg/699px-6_Decomposition_Structure.svg.png)
- [32] IDEF1 - Information Modeling Method. *Integrated Definition Methods (IDEF)* [online]. [cit. 2021-04-30]. Dostupné z: [https://www.idef.com/idef1-information\\_modeling\\_method/](https://www.idef.com/idef1-information_modeling_method/)
- [33] *An IDEF1 Diagram* [online]. [cit. 2021-04-30]. Dostupné z: <https://www.idef.com/wp-content/uploads/2016/02/1Fig1.gif>
- [34] IDEFX1 - Data Modeling Method. *Integrated Definition Methods (IDEF)* [online]. [cit. 2021-5-11]. Dostupné z: <https://www.idef.com/idef1x-data-modeling-method/>
- [35] *IDEF1X Diagram* [online]. [cit. 2021-05-01]. Dostupné z: [https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/c/ca/B\\_5\\_1\\_IDEF1X\\_Diagram.jpg](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/c/ca/B_5_1_IDEF1X_Diagram.jpg)
- [36] COLQUHOUN, G.J, BAINES, R.W, CROSSLEY Roger, A State of the Art Review of IDEF0, *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, Vol. 6, No. 4, 1993, pp. 252-264
- [37] CHEN Peter. The Entity-Relationship Model - Toward a Unified View of Data. *ACM Transactions on Database Systems*. March 1976, roč. 1, čís. 1, s. 9-36. Dostupné z: DOI:[10.1145/320434.320440](https://doi.org/10.1145/320434.320440)
- [38] 2.0 Data Modeling. *Wayback machine* [online]. [cit. 2021-05-03]. Dostupné z: <https://web.archive.org/web/20070622145629/https://idbms.navy.mil/DataModel/IDEF1X.html>
- [39] *ERD Representation* [online]. [cit. 2021-05-05]. Dostupné z: [https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/f/f1/ERD\\_Representation.svg/379px-ERD\\_Representation.svg.png](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/f/f1/ERD_Representation.svg/379px-ERD_Representation.svg.png)

- [40] IDEF3 - Process Description Capture Method. *Integrated Definition Methods (IDEF)* [online]. [cit. 2021-05-08]. Dostupné z: <https://www.undef.com/idef3-process-description-capture-method/>
- [41] *IDEF3 Process Description Diagram* [online]. [cit. 2021-05-10]. Dostupné z: <https://www.undef.com/wp-content/uploads/2016/03/3Fig1.gif>
- [42] IDEF4 - Object-Oriented Design Method. *Integrated Definition Methods (IDEF)* [online]. [cit. 2021-05-11]. Dostupné z: <https://www.undef.com/idef4-object-oriented-design-method/>
- [43] *Organization of the IDEF4 Model* [online]. [cit. 2021-05-11]. Dostupné z: <https://www.undef.com/wp-content/uploads/2016/02/4Fig1.gif>
- [44] MS - Visio. *Tutorialspoint* [online]. [cit. 2021-05-13]. Dostupné z: [https://www.tutorialspoint.com/microsoft\\_visio/microsoft\\_visio\\_tutorial.pdf](https://www.tutorialspoint.com/microsoft_visio/microsoft_visio_tutorial.pdf)
- [45] ŠIMEK, Tomáš. *Visio 2003: uživatelská příručka*. 2005. Praha: Grada, 2005. ISBN 80-247-1360-8.
- [46] *Diagram IDEF0 v MS Visio* [online]. [cit. 2021-05-13]. Dostupné z: <https://support.content.office.net/cs-cz/media/96f2d1ce-72ac-4c3d-ae53-dcd7b4b1bf07.gif>
- [47] Vytváření diagramů IDEF0. *Microsoft* [online]. [cit. 2021-05-13]. Dostupné z: <https://support.microsoft.com/cs-cz/office/vytv%C3%A1%C5%99en%C3%AD-diagram%C5%AF-idef0-ea7a9289-96e0-4df8-bb26-a62ea86417fc>
- [48] MARCA , David. *IDEF0/SADT Business Process and Enterprise Modeling*. San Diego: Electric Solution 1988. 392 p. ISBN 0.9638750-0-0
- [49] JUNEK, Martin. *Využití automatizace v domácnosti* [online]. Brno, 2021 [cit. 2021-04-10]. Dostupné z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/108279>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav automatizace a informatiky. Vedoucí práce Branislav Lacko.
- [50] MORENO, Mariale, Christopher TURNER, Ashutosh TIWARI, Windo HUTABARAT, Fiona CHARNLEY, Debora WIDJAJA a Luigi MONDINI. Re-distributed Manufacturing to Achieve a Circular Economy: A Case Study Utilizing IDEF0 Modeling. *Procedia CIRP* [online]. 2017, (Volume 63), 686-691 [cit. 2021-04-11]. Dostupné z: doi:10.1016/j.procir.2017.03.322
- [51] WAISSI, Gary R., Mustafa DEMIR, Jane E. HUMBLE a Benjamin LEV. Automation of strategy using IDEF0 — A proof of concept. *Operations Research Perspectives* [online]. 2015, (Volume 2), 106-113 [cit. 2021-04-13]. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.orp.2015.05.001>

[52] JEONG, KI-YOUNG; WU, Lei; HONG, Jae-Dong (2009) : IDEF method-based simulation model design and development framework, Journal of Industrial Engineering and Management (JIEM), ISSN 2013-0953, Omnia Science, Barcelona, Vol. 2, Iss. 2, pp. 337-359, <http://dx.doi.org/10.3926/jiem.v2n2.p337-359>

## 7 SEZNAM ZKRATEK

CPS	Cyber-physical system
IoT	Internet of things
CASE	Computer Aided Software Engineering
SDLC	System development life cycle
UML	Unified Modeling Language
AIŘS	Automatizovaný informační a řídicí systémy
CIM	Computer Integrated Manufacturing
ICAM	Integrated Computer-Aided Manufacturing program
SADT	Technika strukturované analýzy a designu
ERM	Entity-relationship model
ERD	Entity-relationship diagram
ICOM	Input, Control, Output, Mechanism



## 8 SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1 Průmyslové revoluce [1].....	16
Obrázek 2 Kyberfyzikální systém [7] .....	21
Obrázek 3 Model RAMI 4.0 [9].....	22
Obrázek 4 Rozložení CASE nástrojů [16] .....	25
Obrázek 5 Metody IDEF [28] .....	34
Obrázek 6 Grafické znázornění IDEF0 [30] .....	35
Obrázek 7 Rozložená struktura IDEF0 [31] .....	36
Obrázek 8 Diagram IDEF1 [33].....	37
Obrázek 9 Diagram IDEF1X [35].....	38
Obrázek 10 Dvě vztažené entity [autor] .....	40
Obrázek 11 Vztah obsahující atribut [autor].....	40
Obrázek 12 Entita obsahující atribut [autor].....	40
Obrázek 13 Příklad notace IDEF1X [39].....	41
Obrázek 14 Diagram IDEF3 [41].....	42
Obrázek 15 Diagram IDEF4 [43].....	43
Obrázek 16 Diagram IDEF0 v MS Visio [46] .....	45
Obrázek 18 Grafické znázornění IDEF0 [30] .....	53
Obrázek 19 Diagram IDEF0 pro automatizovaný systém řízení vytápění RD... 54	
Obrázek 20 Diagram IDEF1X .....	55